

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**“DISEÑO GEOMÉTRICO Y MEDICIÓN DE NIVELES DE SERVICIO
ESPERADO DEL TRAMO CRITICO DE LA RUTA N° LM-122”**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

Arturo Cesar Morales Abanto

ASESOR: Ing. Manuel Elias Silvera Lima

Lima, febrero del 2017



Dedico este trabajo a todas las personas que me apoyaron durante todo este recorrido, desde mi ingreso a la universidad hasta este momento. Gracias a todos ellos; en especial a mis padres que siempre me dieron su confianza para poder seguir a pesar de los contratiempos, que sacrificaron mucho para que pueda completar mis metas y que siempre estuvieron conmigo en los momentos más importantes de mi vida.

También quiero hacer mención a mis abuelos, a todos mis familiares que me dieron respaldo en este tiempo y a las amistades que estaban allí para hacer la vida universitaria más llevadera y divertida.

Este trabajo es una muestra de gratitud y una satisfacción personal en todo sentido. Gracias por tanto, a todos.

RESUMEN

Este proyecto, se centró en la ruta LM-122 la cual es la única que comunica al pueblo de Tanta, ubicado en Yauyos, con el resto de centros de la provincia. Tanta tiene un gran potencial turístico, debido a cercanía al Parque Natural Nor- Yauyos; sin embargo, esto no es aprovechado debido a su inaccesibilidad. El trabajo realizado trata de solucionar este problema, diseñando el tramo más accidentado de la ruta y estimando el nivel de servicio de la sección de la ruta en el futuro. Según el manual de diseño actual (DG-2014), se clasificó a la vía como una carretera de tercera clase, ya que presenta una orografía accidentada y un IMDA menor a 400 vehículos por día. Con estos datos se definieron los parámetros para el diseño como la velocidad del diseño, radio mínimo, rango de longitudes permitidas, entre otros. Se propusieron tres alternativas para el diseño de la ruta; de las cuales se seleccionó la tercera debida a su menor costo en comparación con el resto de alternativas. En base a este diseño se realizó el predimensionamiento de 7 alcantarillas a lo largo de la carretera, y de los muros de contención necesaria en la vía, debido al alcance definido no se realizó estimación de costos para esta parte del proyecto. Para finalizar con el proyecto se realizó la estimación del nivel de servicio a 20 años de estimación, Se obtuvo como resultado el nivel A para la vía. Esto lo convierte en un diseño aceptable, con lo que se cumpliría con el objetivo inicial de facilitar el diseño de la ruta LM-122 para hacerla más accesible.

Título : “Diseño Geométrico y Medición de Niveles de Servicio esperado del tramo crítico de la ruta N° LM-122”

Área : Movilidad y Transporte

Asesor : Ingeniero Manuel Elías Silvera Lima.

Alumno : ARTURO CESAR MORALES ABANTO

Código : 2011.1252.412

Tema N° : # 61

Fecha : Lima, 4 de enero del 2017



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA


La ruta LM-122 es una vía proyectada en la Red Vial Nacional; sin embargo, la misma no se encuentra transitable. Los usuarios de las poblaciones al ver esta problemática se ven en la necesidad de utilizar otras rutas, las cuales tienen una mayor longitud dando como resultado el incremento del tiempo de viaje.

La deficiente comunicación entre centros urbanos en provincias es un problema que continua hasta nuestros días por la falta de carreteras transitables a lo largo y ancho del Perú. La ruta LM-122 es un ejemplo de esta deficiencia dentro del país. Realizar el diseño geométrico de esta vía sería un gran avance para el desarrollo de las poblaciones que une.

Debido a la gran longitud de esta ruta, se ha decidido tomar un tramo de la misma para iniciar con el diseño. Esta parte de la ruta, se ubica en la zona crítica del camino; se define como zona crítica a la que tiene mayores dificultades topográficas. Además del diseño de la vía, se debe tomar en cuenta factores como protección de los taludes y un drenaje eficiente, los cuales ayudaran a mantener operativo el camino en caso de un derrumbe o un exceso de lluvias. También se ha considerado en la propuesta velar por el usuario, manteniendo su seguridad y comodidad en todo momento al transportarse.

ANTECEDENTES

La ruta LM-122 está ubicada, en su mayoría, en el distrito de Tanta ubicado en la provincia de Yauyos, Región Lima. Esta cruza los centros poblados de Cochas, San Joaquín, Huañec y Tanta, siendo el más apartado este último. La ruta se encuentra localizada en la sierra de Lima; la cual tiene fuertes lluvias en épocas de verano y su geología está compuesta por residuos fluvio-glaciares y afloramientos de roca ígnea. Tiene presencia de lagos y lagunas, sin embargo hay poca vegetación; además se encuentran restos arqueológicos de la cultura Inca, específicamente restos del Capac Ñam.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
Lima 32 - Perú
T: (511) 626 2000 anexo 5501

www.pucp.edu.pe/facultad/ingenieria

El proyecto consiste en el diseño geométrico del tramo crítico de la ruta el cual tiene inicio a orillas de una de las lagunas más grandes de la zona y termina en un camino de herradura realizada por los mismos pobladores. También incluye el predimensionamiento de obras de alcantarillado y muros de contención presentes en el tramo final. Para finalizar se estimará el nivel de servicio proyectado a 20 años de la carretera.

Para realización de un diseño geométrico se utiliza el manual respectivo. Estos manuales son formulados por cada país y dan los criterios, fórmulas y lineamientos para el diseño vertical y horizontal de una carretera. En el Perú se tiene el Manual de Diseño Geométrico (DG-2014); el cual está basado en el manual de diseño de los Estados Unidos dada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), más conocido como “Green Book”. El predimensionamiento de las alcantarillas y muros de contención se realizó con los manuales autorizados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Y para la estimación del nivel de servicio se utiliza los criterios del Green Book por ser más completos y acordes a la realidad que los utilizados por el DG-2014.

OBJETIVO

Diseño geométrico y estimación de los niveles de servicio proyectados 20 años en el futuro del tramo crítico (zona con mayores pendientes transversales, gran cantidad curvas cerradas) de la ruta LM-122 para determinar la viabilidad de su mejoramiento en el futuro.

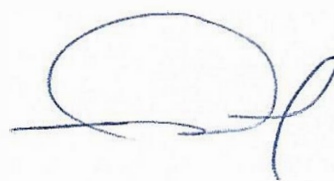
PLAN DE TRABAJO

El desarrollo del proyecto será llevado a cabo de la siguiente manera:

1. Revisión literaria de la realidad actual de la Red Vial peruana
2. Revisión literaria sobre el área de trabajo lo que incluye el estado económico, cultural y ambiental actual de las poblaciones por las que cruza la ruta.
3. Obtención de la topografía correspondiente a la zona de estudio
4. Obtención de los datos hidrológicos y geológicos de la zona de estudio
5. Realización del diseño geométrico de tres alternativas de trazo
6. Elección de alternativa definitiva mediante un Análisis tomando en cuenta el costo de movimiento de tierras, y coordinación de diseño vertical y horizontal.
7. Realización del diseño alcantarillas y muros de contención a nivel de predimensionamiento presentes en la alternativa definitiva.
8. Estimación del nivel de servicio proyectado a 20 años del trazo definitivo.
9. Elaboración de las conclusiones finales.
10. Elaboración de la tesis.

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
Lima 32 - Perú
T: (511) 626 2000 anexo 5501

www.pucp.edu.pe/facultad/ingenieria

ÍNDICE

CAPITULO 1 : INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES	3
CAPITULO 2 : ANTECEDENTES	5
2.1. SITUACIÓN ACTUAL	5
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO.....	8
COCHAS:	8
SAN JOAQUÍN:	8
HUAÑEC:	8
TANTA:	8
2.3. GEOLOGÍA:.....	8
2.4. HIDROLOGÍA:	11
2.5. TOPOGRAFÍA:	11
CAPITULO 3 : METODOLOGÍA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA	15
3.1. ESTIMACIÓN DEL IMDA ACTUAL	16
3.2. PROYECCIÓN PARA IMDA DE DISEÑO	17
3.3. CLASIFICACIÓN POR OROGRAFÍA.....	20
3.4. DEFINICIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO	20
3.5. ELECCIÓN DEL VEHÍCULO DE DISEÑO	22
3.6. DEFINICIÓN DE DERECHO DE VÍA	22
3.7. PENDIENTE LONGITUDINAL MÁXIMA	23
3.8. LONGITUDES TANGENCIALES MÍNIMAS Y MÁXIMAS.....	23
3.9. COEFICIENTE DE FRICCIÓN MÁXIMO.....	24

3.10. PERALTE MÁXIMO	25
3.11. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA Y ADELANTAMIENTO	26
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	26
DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO	27
3.12. RADIO MÍNIMO CURVAS HORIZONTALES	27
3.13. LONGITUDES MÍNIMAS Y MÁXIMAS PARA CURVAS DE TRANSICIÓN	28
LONGITUD MÍNIMA DE ESPIRAL	28
LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL	29
3.14. LONGITUD CURVAS VERTICALES	30
CAPITULO 4 : ALTERNATIVAS DE RUTA	31
4.1. PRIMERA ALTERNATIVA	31
4.1.1 DEFINICIÓN DE LA PENDIENTE DE DISEÑO	31
4.1.2 LONGITUDES DE LA CARRETERA	32
4.1.3 DIAGRAMA DE MASAS	36
4.2. SEGUNDA ALTERNATIVA	37
4.2.1 DEFINICIÓN DE LA PENDIENTE DE DISEÑO	37
4.2.2 LONGITUDES DE LA CARRETERA	38
4.2.3 DIAGRAMA DE MASAS	43
4.3. TERCERA ALTERNATIVA	44
4.3.1 DEFINICIÓN DE LA PENDIENTE DE DISEÑO	44
4.3.2 LONGITUDES DE LA CARRETERA	45
4.3.3 DIAGRAMA DE MASAS	50
CAPITULO 5 : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS	51
5.1. LONGITUD Y TIEMPO DE VIAJE	51
5.2. VOLUMEN DE MATERIAL ACUMULADO POR KILOMETRO	52
5.3. LOCALIZACIÓN DE BOTADEROS	53
CAPACIDAD DE LOS BOTADEROS	53
DISTANCIA A LAS ALTERNATIVAS	54
5.4. ANÁLISIS DE COSTO ESTIMADO DE LAS ALTERNATIVAS	55

DISTANCIA LIBRE DE TRANSPORTE.....	55
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE.....	55
DISTANCIA DE SOBRE ACARREO	55
COSTO DE CADA ALTERNATIVA	57
5.5. VELOCIDAD DE TOMA DE CURVA HORIZONTAL	58
5.6. COORDINACIÓN ENTRE PLANTA Y PERFIL	58
5.7. CANTIDAD DE ALCANTARILLAS.....	59
5.8. LONGITUD DE MUROS DE CONTENCIÓN	60
5.9. ELECCIÓN DE ALTERNATIVA DEFINITIVA.....	61
CAPITULO 6 : DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE	62
CAPITULO 7 : DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN	71
7.1. DIMENSIONES ASUMIDAS	71
7.2. COMPROBACIÓN DE DIMENSIONES.....	72
7.3. LOCALIZACIÓN DE MUROS	75
CAPITULO 8 : ESTIMACIÓN DE NIVELES DE SERVICIO DEL TRAMO .	76
8.1. ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE	77
8.2. AJUSTE DE DEMANDA POR ATS (VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE)	77
8.3. ESTIMACIÓN DEL ATS.....	79
8.4. ESTIMACIÓN DE PFFS.....	80
CONCLUSIONES	81
REFERENCIAS.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Visión referencial extendida de la ruta.....	1
Figura 1-2 Visión referencial de los Km. 23 y 28 de la ruta LM-122.....	2
Figura 2-1 Grafico de la longitud de la Red Vial Departamental entre los años 2012 y 2015.....	5
Figura 2-2 Detalle de red vial departamental	5
Figura 2-3 Ruta alternativa 1 (tiempo de recorrido 6 horas 11 minutos)	6
Figura 2-4 Ruta alternativa 2(Tiempo de recorrido 7 horas y 38 minutos)	7
Figura 2-5 Ruta alternativa 3 (tiempo de recorrido 7 horas y 59 minutos)	7
Figura 2-6 Mapa Geológico del Cuadrángulo de Huarochirí	9
Figura 2-7 Porción del Mapa Geológico centrado en la zona de trabajo	10
Figura 2-8 Ubicación de la provincia de Yauyos.....	12
Figura 2-9 Ubicación del Distrito de Tanta	13
Figura 2-10 Ubicación de los puntos inicial y final de la carretera en mapa distrital de Tanta	14
Figura 3-1 Portada del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2014)	15
Figura 3-2 Portada del Manual de Diseño Geométrico de autopistas y carreteras de la AASHTO	15
Figura 3-3 Proyección del IMDA.....	18
Figura 3-4 Peralte en zonas rurales tipo 3 y 4 (extraído de DG-2014).....	26
Figura 3-5 Distancia de visibilidad de paso vs. Velocidad de diseño (extraído del DG-2014).....	27
Figura 4-1 Alineamiento Horizontal de la Primera alternativa	31
Figura 4-2 Diagrama de Masas sin equilibrar de la primera alternativa	36
Figura 4-3 Alineamiento horizontal de la segunda alternativa	37
Figura 4-4 Diagrama de Masas sin equilibrar de la segunda alternativa	43
Figura 4-5 Alineamiento Horizontal de la Tercera alternativa.....	44
Figura 4-6 Diagrama de Masas sin equilibrar de la tercera alternativa	50
Figura 5-1 Localización de botaderos	53
Figura 6-1 Muestra del área de drenaje de un punto de la alternativa definitiva	66
Figura 7-1 Esquema de las dimensiones y forma de los muros de contención. A la izquierda para muros para relleno y a la derecha de muros para corte	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Resumen De conteo en la estación de Tanta.....	16
Tabla 3-2 Valores del Factor de Corrección Estacional en los diferentes meses del año.....	17
Tabla 3-3 Tabla de clasificación de caminos según su Índice Medio Diario Anual (Adaptado de la DG-2014).....	19
Tabla 3-4 Clasificación por Orografía (adaptado de la DG-2014)	20
Tabla 3-5 Tabla de rango de velocidades en función al tipo de carretera y orografía (Adaptado de la DG-2014).....	21
Tabla 3-6 Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras Según Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC o el que se encuentre vigente)-Extraído de la DG-2014.....	22
Tabla 3-7 Anchos Mínimos de Derecho de Vía (adaptado de la DG-2014).....	22
Tabla 3-8 Pendientes máximas (adaptada de la DG-2014).....	23
Tabla 3-9 Longitudes Mínimas y Máximas para tangentes (adaptado de la DG-2014)	24
Tabla 3-10 Coeficientes de Fricción máximos para carreteras de tercera clase (adaptado de la DG-2014)	25
Tabla 3-11 Peraltes Máximos según la zona en la que se encuentra (adaptado de la DG-2014).....	25
Tabla 3-12 Radios mínimos para carreteras de tercera clase.....	28
Tabla 3-13 Longitudes Máximas y Mínimas de espirales	29
Tabla 3-14 Radios que permiten prescindir de la curva de transición en carreteras de tercera clase (extraída de la DG-2014)	30
Tabla 3-15 Formulas de Curvas Verticales (Adaptado de la DG-2014).....	30
Tabla 4-1 Cuadro de velocidad de toma de curvas de la alternativa.....	33
Tabla 4-2 Cuadro de configuraciones desfavorables presentes en la alternativa....	34
Tabla 4-3 Calculo de curvas verticales.....	35
Tabla 4-4 Cuadro de velocidad de toma de curvas de la alternativa.....	39
Tabla 4-5 Cuadro de configuraciones desfavorables presentes en la alternativa....	41
Tabla 4-6 Longitud de las curvas verticales calculadas.....	42
Tabla 4-7 Cuadro de velocidad de toma de curvas de la alternativa.....	46
Tabla 4-8 Cuadro de configuraciones desfavorables presentes en la alternativa....	47
Tabla 4-9 Cuadro de Longitud de curvas Verticales	49

Tabla 5-1 Cuadro comparativo de longitud y tiempo de viaje.....	51
Tabla 5-2 Cuadro comparativo de volúmenes acumulados.....	52
Tabla 5-3 Cuadro de Capacidades estimadas de los botaderos de la zona	54
Tabla 5-4 Cuadro de distancias a los botaderos por alternativa	54
Tabla 5-5 Distancia media de Transporte y Sobreacarreo de la primera alternativa y volúmenes a movilizar.....	55
Tabla 5-6 Distancia media de Transporte y Sobreacarreo de la segunda alternativa y volúmenes a movilizar.....	56
Tabla 5-7 Distancia media de Transporte y Sobreacarreo de la tercera alternativa y volúmenes a movilizar.....	56
Tabla 5-8 Estimación de la Constante de Costo para el proyecto.....	57
Tabla 5-9 Cuadro Comparativo de Costos de las alternativas	57
Tabla 5-10 Cuadro de comparación de velocidades de las alternativas de trazo....	58
Tabla 5-11 Cuadro de comparación de concordancia del diseño de planta y perfil	59
Tabla 5-12 Cuadro comparativo de ubicación de alcantarillas	59
Tabla 5-13 Cuadro comparativo de Longitud de Muros de Contención	60
Tabla 6-1 Registro de 21 años de la precipitación mensual máxima en 24 horas de la estación de Huañec	62
Tabla 6-2 Registro de 21 años de la precipitación mensual máxima en 24 horas de la estación de Tanta.....	62
Tabla 6-3 Tabla de resultados de las precipitaciones máximas diarias probables de la estación de Huañec	63
Tabla 6-4 Tabla de resultados de las precipitaciones máximas diarias probables de la estación de Tanta.....	64
Tabla 6-5 Tabla de probabilidades según la duración de la precipitación.....	64
Tabla 6-6 Tabla de valores tabulados para las precipitaciones máximas probables para la estación Huañec	64
Tabla 6-7 Tabla de valores tabulados para las precipitaciones máximas probables para la estación Tanta.	65
Tabla 6-8 Tabla de valores tabulados para las curvas Intensidad- Duración- Frecuencia de la estación Huañec	65
Tabla 6-9 Tabla de valores tabulados para las curvas Intensidad- Duración- Frecuencia de la estación Tanta.....	66
Tabla 6-10 Tabla de escorrentías según la naturaleza del suelo y la pendiente del terreno (Adaptado del manual de hidrología, hidráulica y drenaje)	68
Tabla 6-11 Tabla de cálculo de los caudales para cada drenaje	69

Tabla 6-12 Tabla de cálculo de los diámetros de tubería	70
Tabla 7-1 tabla de cálculo de muros de contención para relleno	73
Tabla 7-2 Tabla de cálculo de muros de contención para corte.....	74
Tabla 8-1 Cuadro de niveles de servicio según el tipo de carretera (extraído de HCM 2010).....	76
Tabla 8-2 Cuadro de factores de ajuste de pendientes para terreno en general (Extraído de HCM 2010)	78
Tabla 8-3 Cuadro de factores de ajuste de velocidad promedio de viaje (adaptado de HCM 2010)	79



CAPITULO 1 : INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto consiste en la elaboración del diseño geométrico de un tramo que unirá los kilómetros 23 y 28 (véase Figura 1.2.) de la ruta LM-122, perteneciente a la red departamental de la Región Lima. Tramo que se localiza en la conexión de los centros poblados de Huañec y Tanta; ubicados en la provincia de Yauyos. Además, incluye la realización del pre-dimensionamiento de las obras hidráulicas y de protección de taludes necesarias

El punto de Inicio del tramo a realizar se encuentra en el kilómetro 23 y termina en el kilómetro 28. La ruta que se muestra en las **Figura 1-1** y **Figura 1-2** es el tramo preliminar que permite ubicar esos puntos de inicio y fin del proyecto.



Figura 1-1 Visión referencial extendida de la ruta

¹ Extraído de Google Maps (fecha: 16 de junio del 2015)



Figura 1-2 Visión referencial de los Km. 23 y 28 de la ruta LM-122z

La altura del punto inicial, ubicado en el km 23 de la ruta, se encuentra a 4390 m.s.n.m. y el punto final tiene una altitud de 4588 m.s.n.m. Al encontrarse la carretera a más de 3000 m.s.n.m., se deberá considerar los efectos de ciclos de hielo y deshielo en el diseño del pavimento. Sin embargo, este dato no será usado para definir los parámetros iniciales del diseño geométrico de la vía.

Además del diseño de la carretera se localizarán y pre-dimensionarán las obras complementarias hidráulicas y de protección de taludes. Y para finalizar el proyecto, se calcularán los niveles de servicio de la vía proyectado a 20 años.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El potencial turístico de la zona es bastante alto debido a la presencia de restos de los caminos Inca, sus lagunas y por su cercanía a la reserva natural Nor-Yauyos-Cochas. Los caminos incas atraen a exploradores extremos que realizan caminatas a través de la agreste zona. Las lagunas que abundan en los alrededores son consideradas atracciones paisajísticas, por sus aguas cristalinas. Y en la reserva natural Nor-Yauyos, donde se encuentra la mayor cantidad de lagunas de la zona, se encuentra fauna y flora silvestre protegida.

El tiempo de viaje empleado en las rutas alternas es demasiado largo, por lo que el mejoramiento de esa vía, reduciría el tiempo de viaje grandemente y aumentaría el número de viajes realizados a la zona. Además, mejoraría la comunicación y el

² Extraído de Google Maps (fecha: 16 de junio del 2015)

comercio de los centros que conecta (Cochas, San Joaquín, Huañec y Tanta).

Para resumir, las razones principales por las cuales se realiza este proyecto son desarrollar su potencial turístico y reducir el tiempo de viaje desde el distrito de Cochas y Tanta.

1.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseño geométrico y estimación de los niveles de servicio proyectados 20 años en el futuro del tramo crítico (zona con mayores pendientes transversales, gran cantidad curvas cerradas) de la ruta LM-122 para determinar la viabilidad de su mejoramiento en el futuro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar el Estudio de demanda para el cálculo del IMDA de diseño proyectado a 20 años.
- Realizar el Diseño Geométrico del tramo crítico comprendido entre el km. 23 y 28km. de la ruta LM-122(kilometraje referencial), tramo comprendido entre los centros de Huañec y Tanta.
- Diseñar las estructuras hidráulicas (drenajes, alcantarillas, etc.) y las estructuras de protección (muros de contención, terraplenes, etc.) a nivel de pre-dimensionamiento.
- Estimación de los Niveles de servicio de la alternativa de diseño más apropiada del tramo proyectado 20 años hacia el futuro.

1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES

Debido a que es un trabajo de pregrado, existen ciertas limitaciones que definen el alcance del proyecto. Una de las más importantes es la precisión insuficiente de la topografía, debido a la falta de medios, de la zona de trabajo; esto afecta directamente la fiabilidad de los cálculos de movimientos de tierra, por lo que, todos los parámetros obtenidos a partir de ese cálculo solo son válidos para este trabajo y solo podrán ser utilizados como una referencia de orden de magnitud para futuros

proyectos relacionados a este.

Ya que este proyecto está enmarcado en la república peruana, se utilizará en su gran mayoría los parámetros expuestos en la norma nacional de diseño geométrico vigente, y aquellos los cuales no se encuentren contemplados allí serán completados con reglamentos complementarios afines al trabajo. Esto también se aplica con el pre-dimensionamiento de las obras de arte de protección de taludes e hidráulicas. Todo el proyecto se realizará usando el Software AutoCAD Civil 3D 2016.

Para la estimación del nivel de servicio se revisará el manual más completo vigente, conocido como el HCM edición 2010, y se adaptarán los coeficientes de dicho manual a la realidad del proyecto.



CAPITULO 2 : ANTECEDENTES

2.1. SITUACIÓN ACTUAL

La red vial en Perú se divide en tres categorías, red nacional, red departamental y red vecinal. La longitud total de la red vial departamental es actualmente de 24,235 km. Y como se muestra en la **figura 2-1** Este valor se ha mantenido durante 3 años.

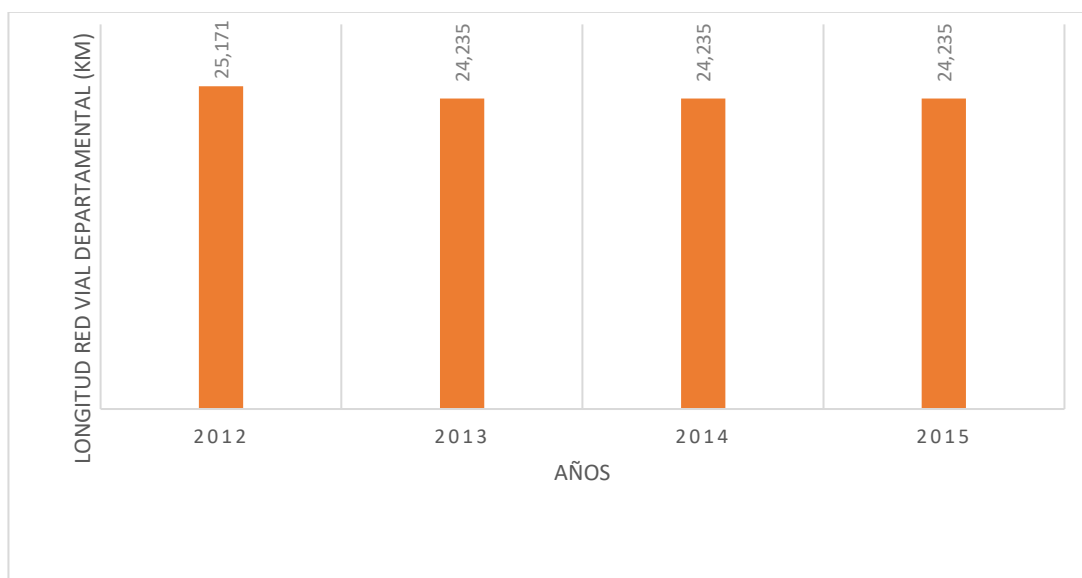


Figura 2-1 Grafico de la longitud de la Red Vial Departamental entre los años 2012 y 2015

Además, la red se clasifica en pavimentada, no pavimentada y proyectada. Cuyos valores tampoco se modificaron en ese lapso de tiempo. En la **figura 2-2** Se puede observar este comportamiento. (TORRES, 2014)

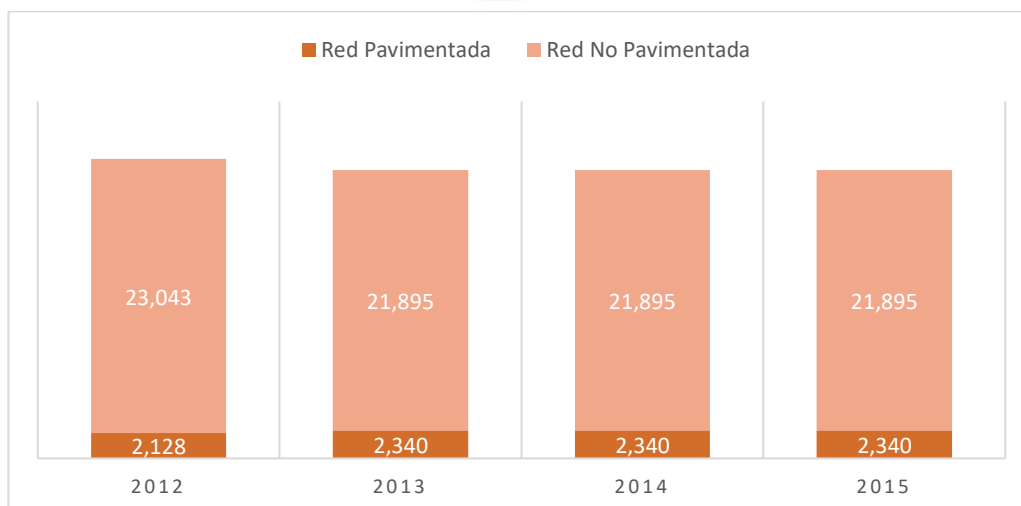


Figura 2-2 Detalle de red vial departamental

Como se observa, la red vial departamental ha sido abandonada desde el año 2013, la mayoría de las rutas no se encuentra pavimentada y no se han desarrollado estos proyectos en las rutas existentes. Esto demuestra la falta de interés de las autoridades departamentales en mejorar su red de carreteras, a pesar de que la facilidad de transporte es uno de los factores más importantes para impulsar el crecimiento de una región.

De acuerdo con la información recopilada, la ruta LM-122 es clasificada como una trocha carrozable y pertenece a la red vial departamental de Lima. Tiene inicio en el centro poblado de Cochas, y cruza por los centros Poblados de San Joaquín, Huañec y Tanta, los cuales están ubicados en la provincia de Yauyos, región Lima. La ruta termina al empalmarse con la ruta LM-120.

La vía recibe mantenimiento cada tres años; sin embargo, debido a la altura en la que se encuentra y las condiciones climáticas que presenta, es de difícil acceso para el transporte motorizado. Esto ocasiona que los habitantes de la zona opten por otras rutas que son más largas, pero más accesibles. Ejemplos de estas rutas se pueden ver en las **figuras 2-3, 2-4 y 2-5**.



Figura 2-3 Ruta alternativa 1 (tiempo de recorrido 6 horas 11 minutos)³

³ Extraído de Google Maps (fecha: 16 de junio del 2015)

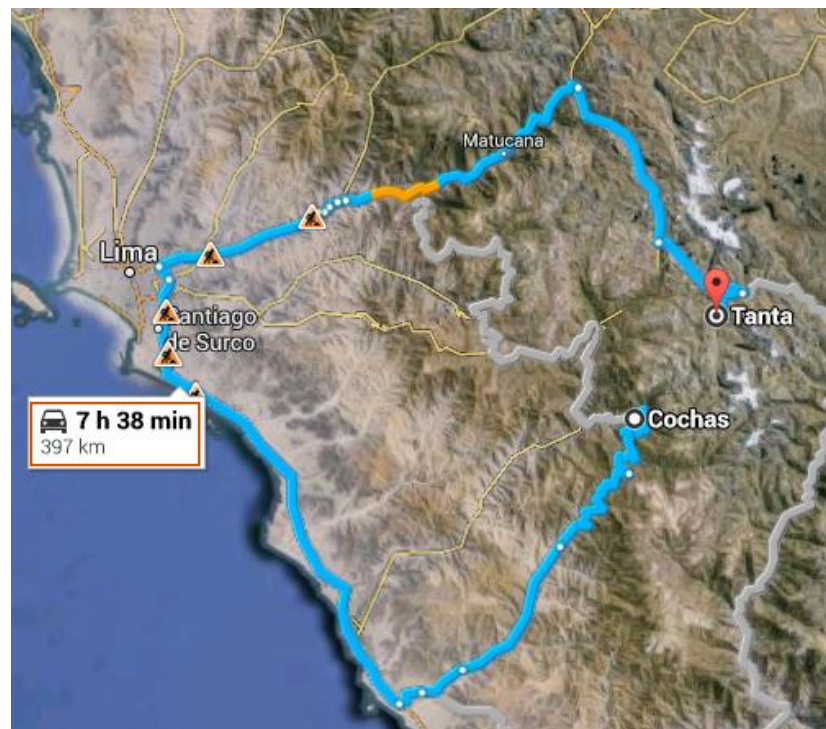


Figura 2-4 Ruta alternativa 2(Tiempo de recorrido 7 horas y 38 minutos)⁴



Figura 2-5 Ruta alternativa 3 (tiempo de recorrido 7 horas y 59 minutos)⁵

⁴ Extraído de Google Maps (fecha: 16 de junio del 2015)

⁵ Extraído de Google Maps (fecha: 16 de junio del 2015)

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

COCHAS:

Cochas es la capital del distrito con el mismo nombre, es ubicada a una altura de 2770 m.s.n.m. aproximadamente. El centro poblado tiene 419 habitantes. Sus actividades económicas más importantes son la agricultura y el turismo.

SAN JOAQUÍN:

Es la capital del distrito del mismo nombre, se encuentra a una altitud de 2947 m.s.n.m. aproximadamente, según el INEI. El distrito cuenta con una población de 428 habitantes. La actividad económica predominante del distrito es la agricultura.

HUAÑEC:

Es la capital del distrito del mismo nombre, se encuentra a una altura promedio de 3202 m.s.n.m. Además, la ciudad tiene 484 pobladores. Su actividad económica más importante es la agricultura, sin embargo, presenta potencial turístico.

TANTA:

Capital del distrito con el mismo nombre. El centro poblado se encuentra a una altura de 4268 m.s.n.m. Este distrito cuenta 550 habitantes, según el INEI. El distrito tiene como actividades económicas más importante la agricultura y el turismo.

2.3. GEOLOGÍA:

De acuerdo a la información obtenida en el Ministerio de Agricultura, el tipo de suelo presente en la zona de trabajo es rocoso. Debido a los afloramientos del batolito de la costa (roca ígnea), además se encuentran áreas con estratos de arenisca (roca sedimentaria); Sin embargo, debido a las condiciones climáticas se puede encontrar un estrato de 0.5 a 1.5 metros de espesor de roca meteorizada. También se puede encontrar depósitos de caliza y piedra que son usados como materias primas de construcción. (Ministerio de Agricultura, 2011)

MAPA GEOLOGICO DEL CUADRANGULO DE HUARACHIRI

6 Extraído del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
<http://es.calameo.com/read/000820129f75b2b793c10> (Fecha de revisión: 23 de octubre del
 2016)

En la **Figura 2-6** se puede apreciar el cuadrángulo completo además de la leyenda de cada tipo de suelo presente. Sin embargo, nos centraremos en la porción mostrada en la **Figura 2-7**.

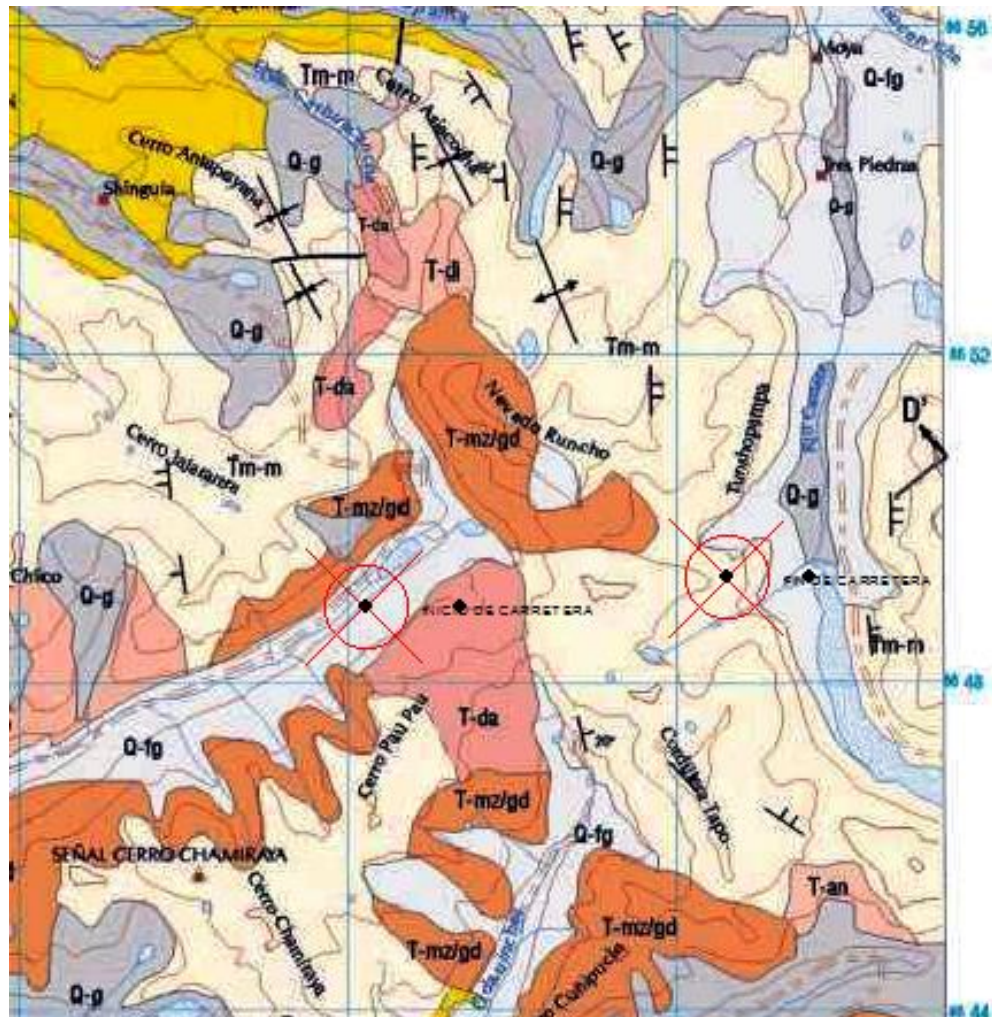


Figura 2-7 Porción del Mapa Geológico centrado en la zona de trabajo⁷

Los tipos principales de suelo están codificados de la siguiente manera.

- Q-fg: Depósitos Fluvioglaciares
- T-da: Dacita
- Tm-m: Volcán Millotingo
- T-mz/gd: Monzonita granodiorita

7 Adaptado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
(Fecha de revisión: 23 de octubre del 2016)

De acuerdo a lo investigado, Los depósitos fluvio-glaciares están conformados por suelo Areno-arcillosos con mayor porcentaje de arena por encima del de arcilla (boletín de la Carta Geológica de Huarochirí). Los restos del Volcán Millotingo están conformados en su mayoría por dacitas y otras rocas ígneas de gran resistencia. Al igual que la dacita, la monzonita granodiorita es una roca ígnea intrusiva de gran resistencia. Por lo tanto, se concluye que, a partir de esta información, los materiales resultantes del movimiento de tierras podrán ser usados como material de relleno en los terraplenes proyectados.

2.4. HIDROLOGÍA:

Toda la zona de estudio se encuentra en la cuenca hidrográfica del río Mala. Este río forma parte de la vertiente de la costa, al igual que todos los ríos que forman este grupo presenta caudales pequeños e irregulares, además de tener un nivel bajo de precipitaciones a lo largo del año. De acuerdo al estudio hidrológico realizado por el ministerio de agricultura se ha obtenido una precipitación promedio anual de 536 milímetros de agua aproximadamente. Para obtener ese valor se realizó un promedio aritmético de las estaciones Tanta (848.8 mm) y Huañec (223.2 mm), por lo que solo es un valor aproximado. (Ministerio de Agricultura, 2011).

2.5. TOPOGRAFÍA:

Para Iniciar con el diseño se tuvo que contactar con el Instituto Geológico Nacional, para obtener la carta topográfica correspondiente en su versión Digital. En este caso, la Carta necesaria esta denominada como 25-k. Pero también es llamada carta topográfica de Huarochirí, porque describe gran parte de ese territorio. El archivo se encuentra en escala 1:250000 y fue entregada en el formato SHP (shape), el cual no se visualiza en el programa AutoCAD Civil 3D. Por lo que, se realizó una conversión. La carta describe la topografía de la provincia de Huarochirí y parte de la provincia de Yauyos, donde se ubica el área de trabajo. En la **figura 2-8, figura 2-9 y figura 2-10** Se puede visualizar la ubicación y localización donde se realiza el proyecto.

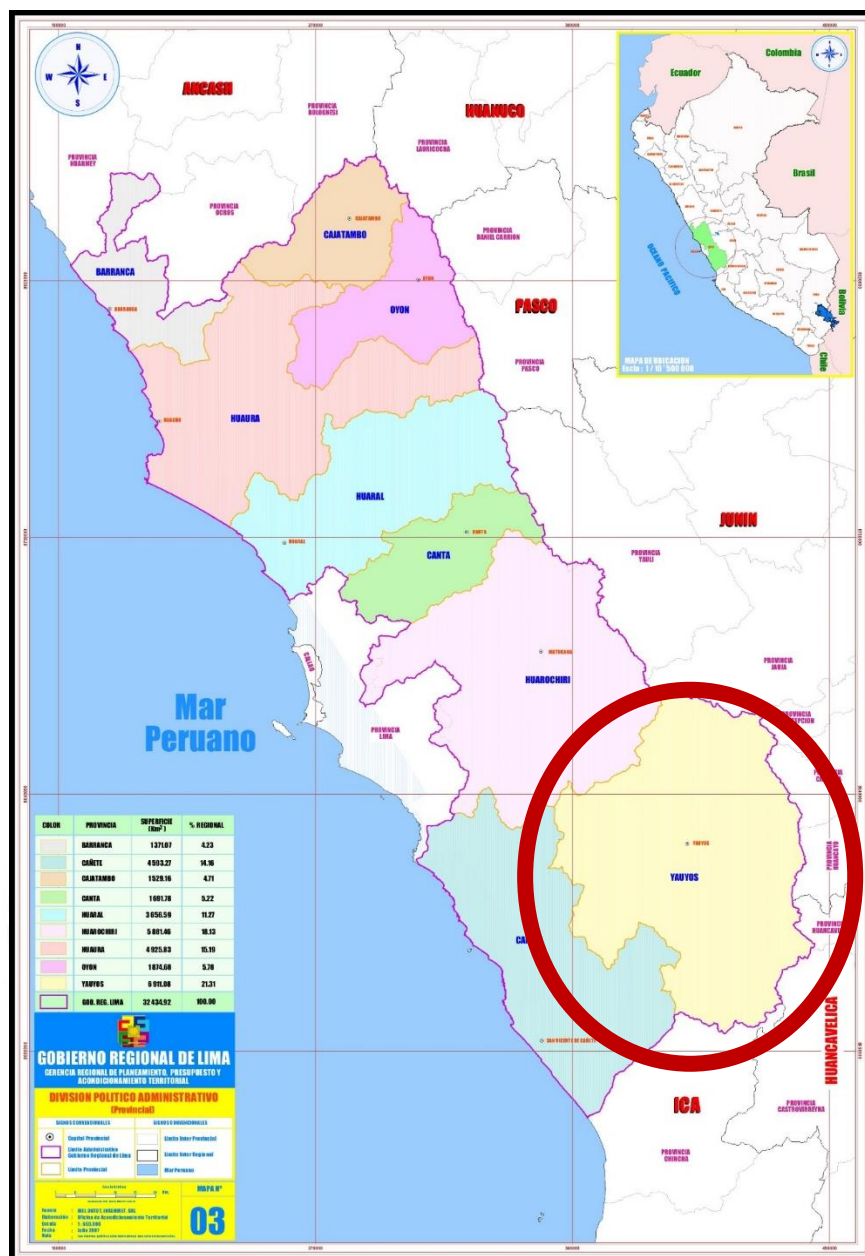


Figura 2-8 Ubicación de la provincia de Yauyos

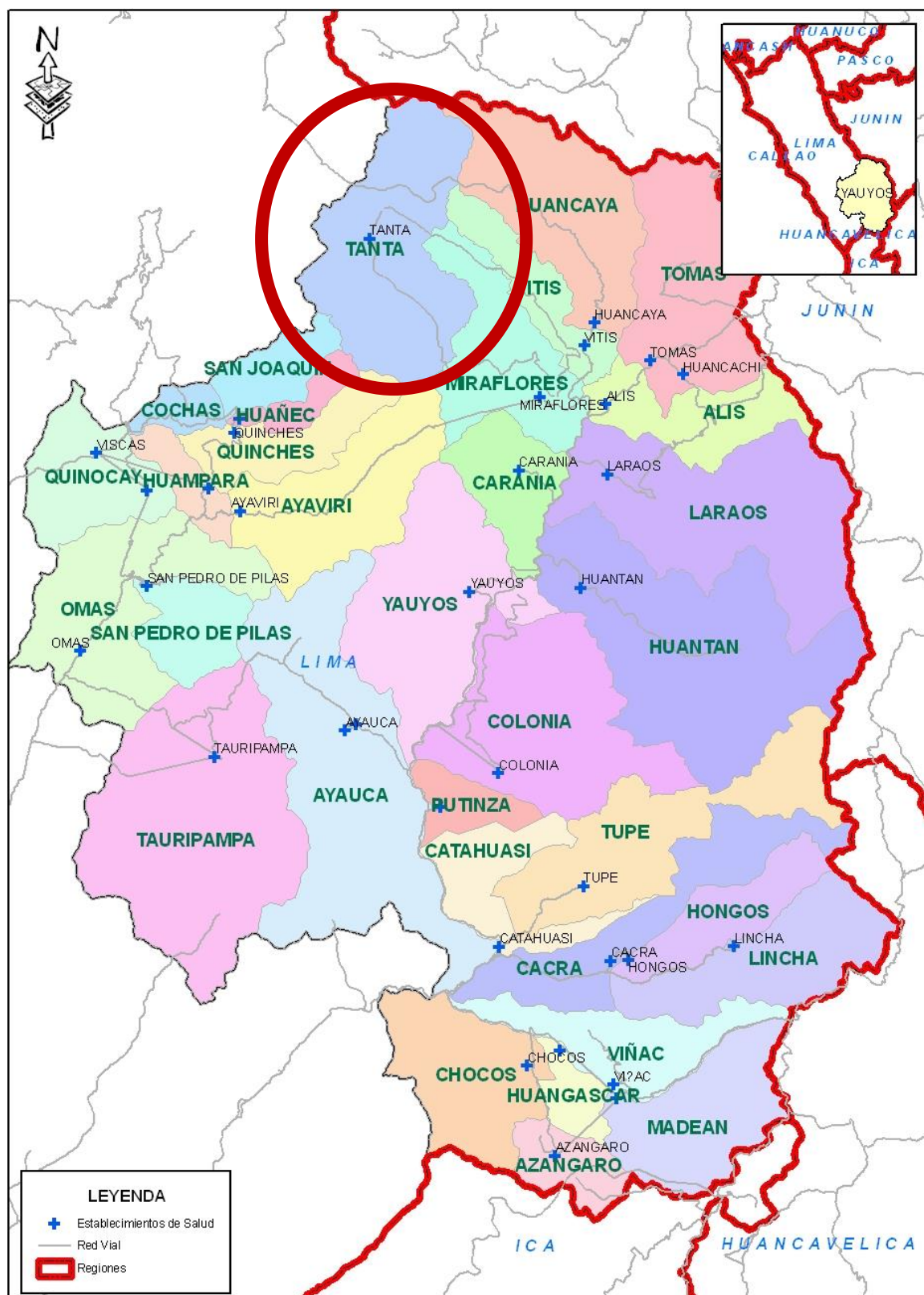


Figura 2-9 Ubicación del Distrito de Tanta

9 Extraído de Yauyos al Día <http://yauyos-aldia.blogspot.pe/2013/02/por-fin-reconocen-como-persona-juridica.html> (fecha de revisión: 23 de octubre del 2016)

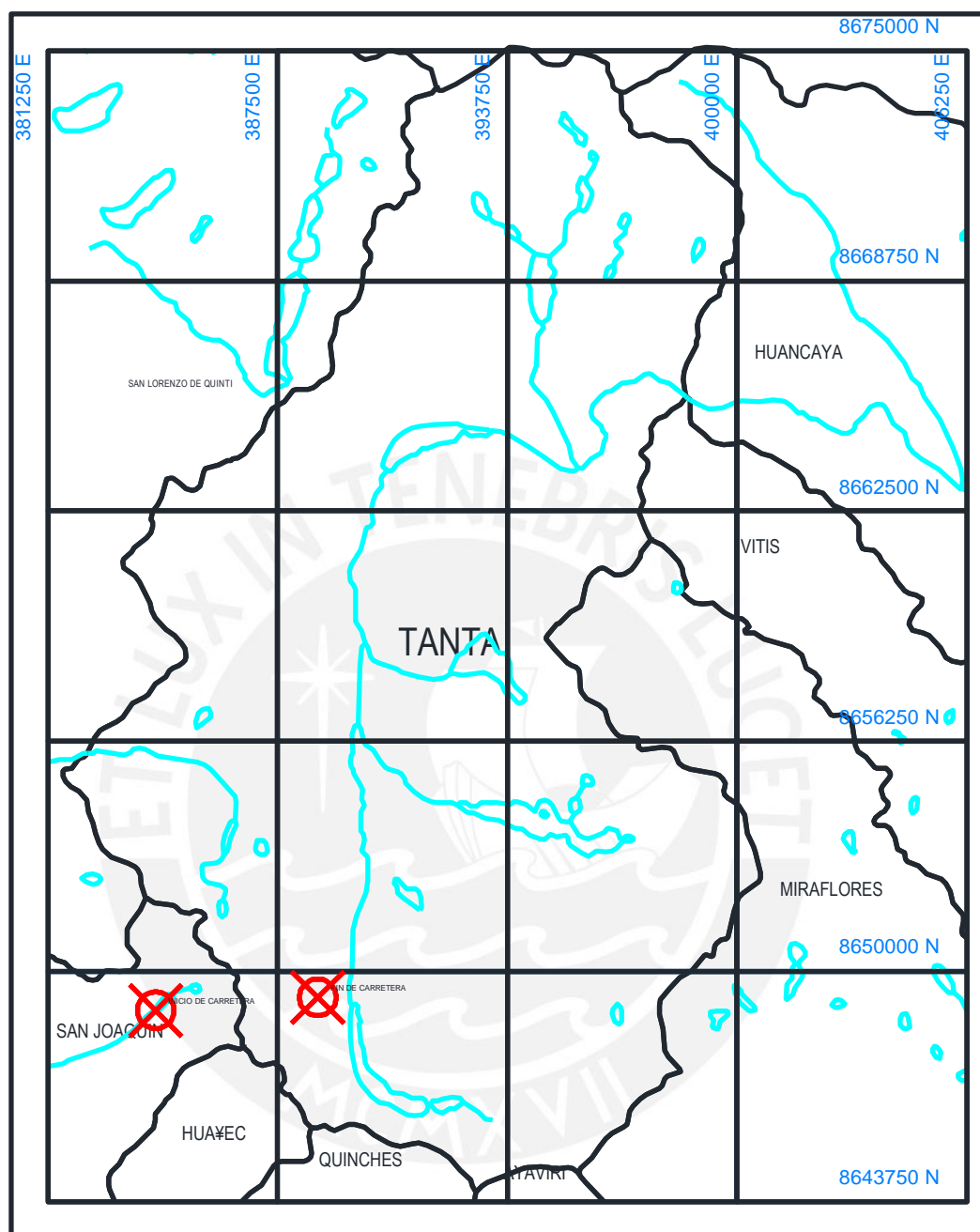


Figura 2-10 Ubicación de los puntos inicial y final de la carretera en mapa distrital de Tanta¹⁰

¹⁰ Adaptado del Bloque de Lima Provincias (BibliCAD) http://www.bibliocad.com/biblioteca/lima_65319 (fecha de revisión: 23 de octubre del 2016)

CAPITULO 3 : METODOLOGÍA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA

El diseño geométrico de las tres alternativas del trazo de la carretera se realizará siguiendo los criterios del **Manual de Carreteras: diseño geométrico (DG-2014)**. Este manual, al igual que otros en Sudamérica y Europa, está basado en el manual de diseño geométrico de autopistas de la **AASHTO Edición 2011**, también conocido como el Green Book. Se utilizarán ciertos lineamientos presentes allí, que no están presentes en nuestra guía, para poder realizar ciertos cálculos con mayor precisión. A continuación, en las **figuras 3-1 y 3-2**, se muestran las portadas de los manuales a utilizar.

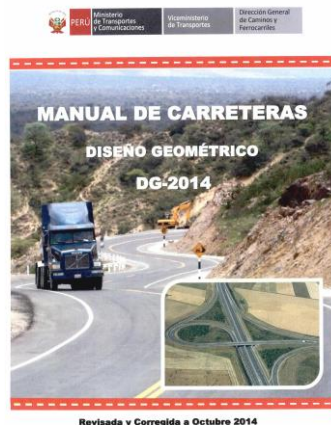


Figura 3-1 Portada del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2014)

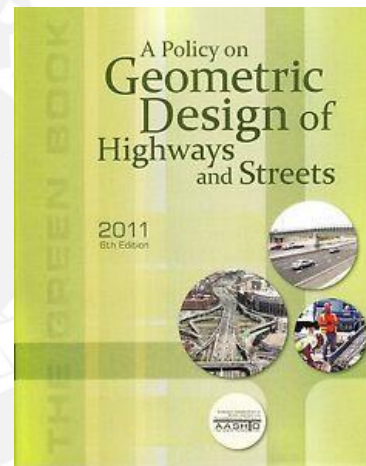


Figura 3-2 Portada del Manual de Diseño Geométrico de autopistas y carreteras de la AASHTO

Para elaborar el diseño se utiliza el programa de computadora AutoCAD Civil 3D Versión 2016. Este programa permite la creación de un perfil topográfico en el cual se pueda dibujar el eje de la carretera, Además contiene dentro de su programación los criterios del Green Book el cual nos permite verificar los radios mínimos, las longitudes máximas y mínimas, distancia de visibilidad, etc. El programa también muestra el perfil longitudinal de vía, dando la oportunidad de realizar el diseño de las curvas verticales. Y cuenta con una herramienta para el cálculo del diagrama de masas de todo el tramo diseñado. Debido a que no todos los criterios del Green book concuerdan con los del manual de diseño geométrico peruano, se corroboraran manualmente algunos parámetros.

3.1. ESTIMACIÓN DEL IMDA ACTUAL

La ruta departamental LM-122 no presenta un estudio de tráfico anterior, lo cual obliga a realizar un conteo en uno de sus tramos. Se eligió una estación de conteo en el centro poblado de Tanta; puesto que este asentamiento se encuentra únicamente conectado por esa ruta (sin ese camino Tanta se encontraría incomunicado).

Se contrató a un técnico para la realización del conteo. Luego, se planificó la realización del conteo de una semana. El conteo fue iniciado el día 18 y finalizando 24 de mayo del año 2015. Para el conteo se tomó en cuenta los siguientes tipos de vehículos:

- Motocicletas
- Automóviles
- Camionetas
- Buses de 2 Ejes
- Camiones de 2 Ejes

No se tomaron en cuenta otros tipos de vehículos, puesto que no se encuentran disponibles en la zona de estudio. En la **Tabla 3-1** Se muestra un resumen de la cantidad de promedio de vehículos de la semana y el Índice Medio Diario Semanal (IMDS). Las tablas detalladas de conteo son presentadas en el apartado de **ANEXOS. (Véase ANEXO 1)**

Tabla 3-1 Resumen De conteo en la estación de Tanta

IMDS ESTACIÓN TANTA	
TIPO DE VEHÍCULO	CANTIDAD
MOTOCICLETAS	15
AUTOMÓVILES	11
CAMIONETAS	9
BUSES DE 2 EJES	2
CAMIÓN DE 2 EJES	2
TOTAL	39

Para realizar la proyección del IMDA se debe multiplicar el IMDS por un factor de corrección estacional (FC), proveniente de la Unidad de Peaje más cercana a la zona de estudio. En este caso, La estación más cercana se encuentra en Corcona. En la **Tabla 3-2** Se muestran los valores del FC según el mes cuando fue tomado el IMDS.

Tabla 3-2 Valores del Factor de Corrección Estacional en los diferentes meses del año

ESTIMACION DE FACTOR DE CORRECCION ESTACIONAL										ESTACION	CORCONA
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1.051301	1.018810	1.012837	0.949320	0.967974	1.005690	1.066033	0.989782	1.044532	1.011459	1.034433	0.977987
1.05	1.02	1.01	0.95	0.97	1.01	1.07	0.99	1.04	1.01	1.03	0.98

De acuerdo a lo anterior, el valor de FC a utilizar es **0.967974** que será redondeado a **0.97**, para evitar colocar decimales innecesarios. Cabe resaltar que los valores presentados en la **Tabla 3.2**. Eran vigentes hasta el año 2010, sin embargo, no se espera que esto afecte significativamente a la corrección.

$$IMDA = IMDS * FC$$

$$38 = 39 * 0.97$$

Luego de realizar la corrección se obtuvo un IMDA igual a 38 vehículos/día. Con este valor de IMDA se puede realizar la proyección para iniciar con el diseño.

3.2. PROYECCIÓN PARA IMDA DE DISEÑO

Para la estimación de la tasa de crecimiento, se tomó en cuenta los criterios mostrados en el capítulo 5 (proyección de demanda) del plan Intermodal de transportes del Perú. Y los valores de los cuadros del apéndice 5.4 del mismo documento.

Las variables a tomar en cuenta son:

- **El PBI de la zona de estudio:** Para refinar la estimación, no se utiliza el PBI del país; sino que se calcula un valor para cada provincia del Perú. Nuestra zona de estudio se encuentra en la Provincia de Yauyos al cual le corresponde un valor del PBI igual al 3.1% de crecimiento anual.
- **El Factor de Elasticidad:** Este factor nos permite calcular el transito base de la zona de estudio, tomando en cuenta la elasticidad de la demanda de un

determinado servicio. Este factor es diferente para el transporte de pasajeros y para el transporte de carga. El factor de transporte de pasajeros es 1, y el de carga es igual a 1.2.

- **Transito Base:** es la tasa de crecimiento inicial del tránsito, el cual resulta de multiplicar el factor de elasticidad y el PBI de la zona de estudio. Para la tasa de transporte de pasajeros se tiene un valor de 3.1% y para la tasa de transporte de carga, 3.72%.
- **Corrección por Turismo:** Debido al potencial turístico de la zona de estudio se le aumenta a la tasa base un 0.5%. Esta corrección solo aplica para la tasa de transporte de pasajeros.
- **Corrección por Proyectos:** Debido a la cantidad de proyectos desarrollados en la zona se le aumenta un 0.1% a la tasa base.
- **Tasa Compuesta:** Es la suma de las tasas bases con las correcciones correspondientes. Para el caso de transporte de pasajeros, la tasa es 3.7%. Y la tasa de crecimiento de transporte de Carga es 3.82%.

En la **Figura 3-3** Se muestra la proyección del IMDA de cada año desde el 2015 hasta el 2035.

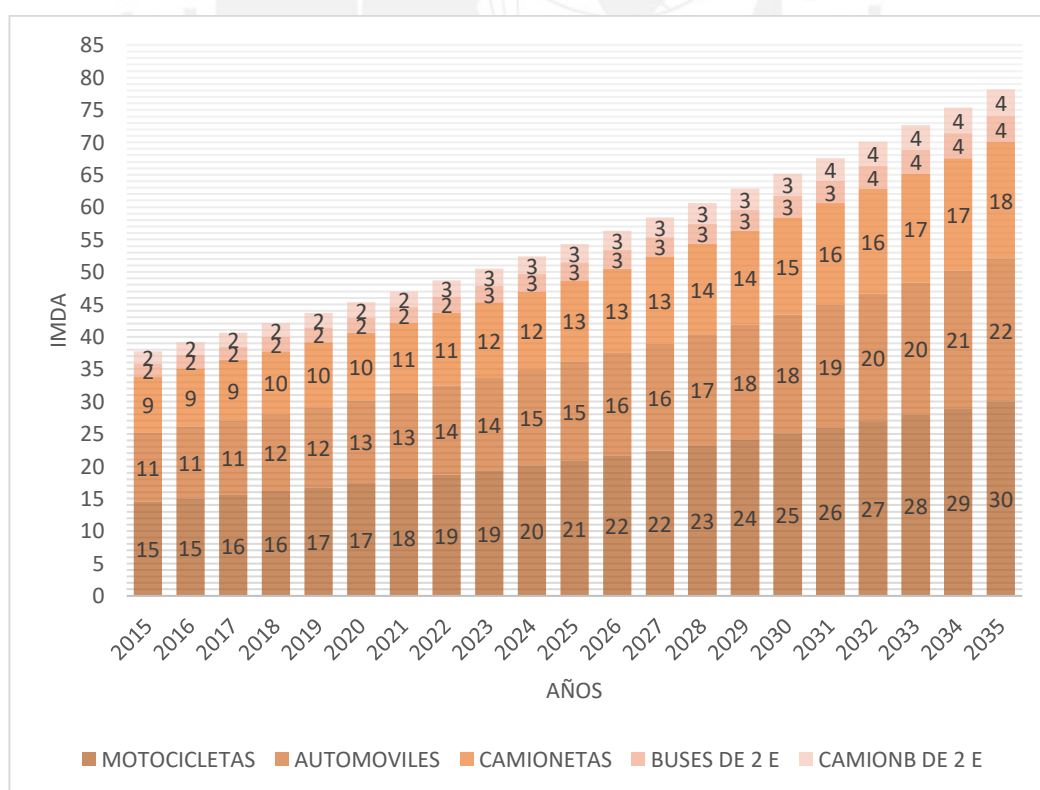


Figura 3-3 Proyección del IMDA

De acuerdo a los valores de la **Figura 3.3** El IMDA de Diseño sería el calculado para el año 2035; el cual es igual a 78 vehículos/día. Según el Manual de Diseño Geométrico: DG-2014, al tener un IMDA menor a 200 vehículos/día esta vía está clasificada como trocha carrozable. En la **Tabla 3-3** Se presenta la clasificación de vías según el IMDA que tienen.

Tabla 3-3 Tabla de clasificación de caminos según su Índice Medio Diario Anual (Adaptado de la DG-2014)

Clasificación	Rango de IMDA	Ancho de Calzada	Calidad de vía
Autopista de Primera Clase	Mayor a 6000 vehículos/día	Separador mayor o igual 6 m. 3,60 m de ancho mínimo de carril. 2 o más carriles por calzada	Vía pavimentada
Autopista de Segunda Clase	Entre 6000 y 4001 vehículos/día	Separador menor a 6 m. 3.6 m de ancho mínimo de carril 2 o más carriles por calzada	Vía pavimentada
Carretera de Primera Clase	Entre 4000 y 2001 vehículos/día	3,6 m de ancho mínimo de carril 2 carriles por calzada	Vía pavimentada
Carretera de Segunda Clase	Entre 2000 y 400 vehículos/día	3,3 m de ancho mínimo de carril 2 carriles por calzada	Vía pavimentada
Carretera de Tercera Clase	Menor a 400 vehículos/día	3 m de ancho mínimo de carril 2 carriles por calzada	Vía pavimentada o Afirmada
Trocha Carrozable	Menor a 200 vehículos/día	4m de ancho mínimo de carril plazoletas de cruce a cada 500m como mínimo	Vía afirmada o no afirmada

Como el manual no contempla parámetros para el diseño de este tipo de vías y el manual de diseño para vías no pavimentadas con bajos niveles de tránsito no se encuentra vigente; se ha tomado la decisión de elaborar el diseño como si la vía estuviese clasificada como una carretera de tercera clase.

Además, se puede extraer de la **tabla 3-3** el ancho de la calzada, el cual será de 6 metros (2 carriles de 3 metros de ancho), esto servirá para evitar la tarea de localizar plazoletas de cruce en el proyecto. Además, por la condición de baja demanda de tránsito de dicha carretera, la vía será solamente afirmada.

3.3. CLASIFICACIÓN POR OROGRAFÍA

Según lo observado en la porción de la carta topográfica utilizada, la zona en donde se ubicará la carretera tiene una pendiente máxima transversal de 73.36 %. Al tener una pendiente menor al 100%, según la **tabla 3-4**, el tipo de orografía que presenta la vía es accidentada.

Tabla 3-4 Clasificación por Orografía (adaptado de la DG-2014)

Tipo De Orografía	Rango De Pendientes
Terreno Plano	Menores o iguales a 10%
Terreno Ondulado	Mayores a 10% y menores o iguales a 50%
Terreno Accidentado	Mayores a 50% y menores o iguales a 100%
Terreno Escarpado	Mayores a 100%

3.4. DEFINICIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

Para la elección de la velocidad de diseño se tomó el criterio del manual de diseño DG-2014, el cual está expuesto en la **tabla 3-5**.

Tabla 3-5 Tabla de rango de velocidades en función al tipo de carretera y orografía
(Adaptado de la DG-2014)

Clasificación	Orografía	Velocidades de diseño (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Autopista de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Autopista de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de tercera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

De acuerdo a la **tabla 3.5** El rango de velocidades de diseño de nuestra vía es de 30 a 50 km/h. Las velocidades de 30 km/h y 40 km/h no generarían ningún cambio a la situación actual de los usuarios de esta ruta; y afectaría negativamente al paso de los años. El flujo vehicular aumenta como se muestra proyección realizada en el capítulo anterior, por lo que el nivel de saturación de la vía lo hará también; consecuentemente el nivel de servicio bajará. Debido a esto, se selecciona la velocidad mayor (50 km/h) con la que se busca tener un nivel de servicio consistente y aceptable a lo largo del tiempo que se realizó la proyección para la vía.

3.5. ELECCIÓN DEL VEHÍCULO DE DISEÑO

El vehículo de diseño permitirá calcular la distancia de visibilidad, el radio mínimo (tanto de curvas horizontales como de curvas verticales). En este proyecto, tomando en cuenta los vehículos considerados durante el conteo, se escogió como vehículo de diseño el bus de 2 ejes (B-2). En la **Tabla 3-6** Se muestran las dimensiones de los vehículos considerados por el manual de diseño.

Tabla 3-6 Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras Según Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC o el que se encuentre vigente)-Extraído de la DG-2014

Tipo de Vehículo	Alto Total	Ancho Total	Vuelo Lateral	Ancho Ejes	Largo Ejes	Vuelo Delantero	Separación Ejes	Vuelo Trasero	Radio min. Rueda Exterior
vehículo ligero (VL)	1.30	2.10	0.15	1.80	5.80	0.90	3.40	1.50	7.30
ómnibus de dos ejes (B2)	4.10	2.60	0.00	2.60	13.20	2.30	8.25	2.65	12.80
ómnibus de tres ejes (B3-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	14.00	2.40	7.55	4.05	13.70
ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	15.00	3.20	7.75	4.05	13.70
ómnibus articulado (BA-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	18.30	2.60	6.70/1.90/4.00	3.10	12.80
semirremolque simple (T2S1)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	6.00/12.50	0.80	13.70
remolque simple (C2R1)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	10.30/0.80/2.15/7.75	0.80	12.80
semirremolque doble (T3S2S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.40/6.80/1.40/6.80	1.40	13.70
semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.45/5.70/1.40/2.15/5.70	1.40	13.70
Semirremolque (T3S3)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	5.40/11.90	2.00	1.00

3.6. DEFINICIÓN DE DERECHO DE VÍA

El derecho de vía es el ancho en donde se encuentra la sección de la carretera y sus obras complementarias, además se toman en cuenta áreas de ensanches y mejoramientos en el futuro. En la **Tabla 3-7** se muestran los anchos mínimos de derecho de vía según su clasificación por IMDA.

Tabla 3-7 Anchos Mínimos de Derecho de Vía (adaptado de la DG-2014)

Clasificación	Anchos Mínimos (m)
Autopista de primera clase	40
Autopista de segunda clase	30
Carretera de primera clase	25
Carretera de segunda clase	20
Carretera de tercera clase	16

Acorde a la **tabla 3-7** El ancho mínimo necesario para nuestro diseño es de 16 metros.

3.7. PENDIENTE LONGITUDINAL MÁXIMA

Dependiendo de la velocidad de diseño, la clasificación por IMDA y el tipo de orografía, se determina una pendiente longitudinal máxima que la carretera puede desarrollar. Estas pendientes se muestran en la **tabla 3-8**, la cual se muestra a continuación.

Tabla 3-8 Pendientes máximas (adaptada de la DG-2014)

Demanda		Autopistas								Carretera											
Vehículos/día		>6000				6000-4001				4000-2001				2000-400				<400			
Características		Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Tipo de orografía		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño	30 km/h																			10.0	10.0
	40 km/h																9.0	8.0	9.0	10.0	
	50 km/h											7.0	7.0			8.0	9.0	8.0	8.0	8.0	
	60 km/h					6.0	6.0	7.0	7.0	6.0	6.0	7.0	7.0	6.0	7.0	8.0	9.0	8.0	8.0		
	70 km/h			5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	7.0	6.0	6.0	7.0	7.0	6.0	6.0	7.0		7.0	7.0		
	80 km/h	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0		6.0	6.0			7.0	7.0		
	90 km/h	4.5	4.5	5.0		5.0	5.0	6.0		5.0	5.0			6.0				6.0	6.0		
	100 km/h	4.5	4.5	4.5		5.0	5.0	6.0		5.0				6.0							
	110 km/h	4.0	4.0			4.0															
	120 km/h	4.0	4.0			4.0															
	130 km/h	3.5																			

De acuerdo con la **Tabla 3-8** La pendiente correspondiente a la carretera es de 8%. Para iniciar el diseño se reduce la pendiente máxima a la mitad o también se puede le puede adicionar 3% a este valor reducido, depende de la zona de trabajo.

3.8. LONGITUDES TANGENCIALES MÍNIMAS Y MÁXIMAS

De acuerdo al manual de carreteras los tramos rectos de una vía tienen una longitud máxima y mínima, la que depende de la velocidad de diseño. Estas son las ecuaciones utilizadas para el cálculo de dichas longitudes.

Longitud mínima entre curvas “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radio de curvatura de sentido contrario)

$$L_{min.s} = 1.39 \times V$$

Longitud mínima entre curvas “O” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido)

$$L_{min.o} = 2.78 \times V$$

Longitud máxima de tramo recto

$$L_{max} = 16.70 \times V$$

Además de las ecuaciones, el manual muestra los valores tabulados para diferentes velocidades de diseño, los que se muestran en la **tabla 3-9**.

Tabla 3-9 Longitudes Mínimas y Máximas para tangentes (adaptado de la DG-2014)

V (Km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx. (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Como se indica en la **tabla 3-9** Las longitudes mínimas son 42 y 84 metros, para curvas en “s” y curvas en “O” respectivamente. Y como longitud máxima, 835 metros.

3.9. COEFICIENTE DE FRICCIÓN MÁXIMO

Es un parámetro de diseño importante, necesario para calcular el radio mínimo, las distancias de visibilidad y las distancias de frenado. Este depende de las condiciones climatológicas de la zona y de la velocidad de diseño. En la **tabla 3-10** Se muestra que para una velocidad de diseño igual a 50 km/h, le corresponde un coeficiente de fricción de 0.16.

**Tabla 3-10 Coeficientes de Fricción máximos para carreteras de tercera clase
(adaptado de la DG-2014)**

Velocidad de diseño Km/h	f máx.
20	0.18
30	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15

3.10. PERALTE MÁXIMO

Es la pendiente que debe tener una curva horizontal para evitar el descarrilamiento de los vehículos, este parámetro depende del tipo de orografía de la zona y del radio de la curva. En la **tabla 3-11** se muestran los peraltes máximos permitidos para carreteras de tercera clase.

Tabla 3-11 Peraltes Máximos según la zona en la que se encuentra (adaptado de la DG-2014)

Pueblo o Ciudad	Peralte Máximo (p)	
	Absoluto	Normal
Atravesamiento de zonas urbanas	6%	4%
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8%	6%
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12%	8%
Zona rural con peligro de hielo	8%	6%

Según la tabla el peralte máximo a utilizar será de 12%. Sin embargo, para el cálculo de los peraltes para diferentes radios de curvas y diferentes velocidades de diseño, se utiliza la **Figura 3-4**.

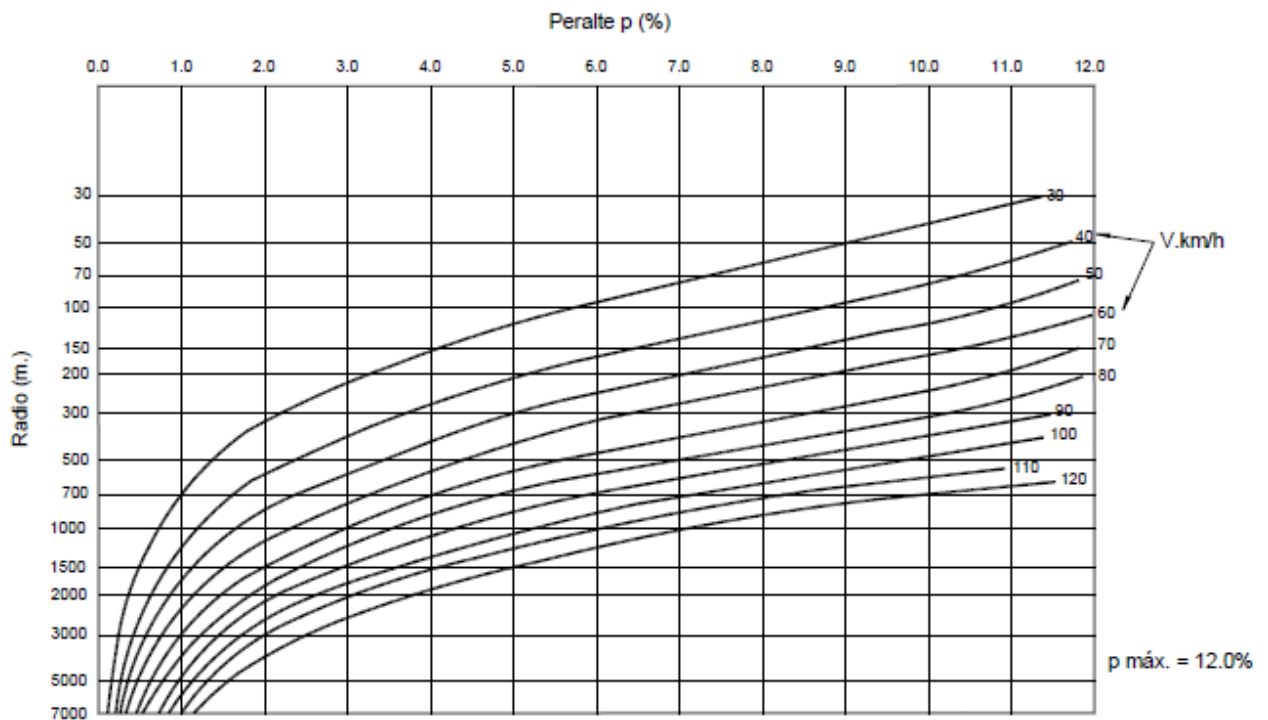


Figura 3-4 Peralte en zonas rurales tipo 3 y 4 (extraído de DG-2014)

3.11. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA Y ADELANTAMIENTO

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Para obtener la distancia de velocidad de parada, el manual de diseño geométrico; propone una formula la cual depende de la pendiente longitudinal y su sentido, la velocidad de diseño y el tiempo de respuesta del conductor.

$$D_p = \frac{V * t_p}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f \pm i)}$$

D_p: Distancia de parada (m)

V: Velocidad de diseño

- tp: Tiempo de percepción + reacción (s)
 f: coeficiente de fricción, pavimento húmedo
 i: pendiente longitudinal (tanto por uno)
 +i: Subidas respecto al sentido de circulación
 -i: Bajadas respecto al sentido de circulación. (MTC, DG-2014)

Este dato se usará al momento del diseño del perfil longitudinal de la vía, la distancia de parada es importante al momento de calcular los radios verticales.

DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO

La estimación de la distancia de adelantamiento es bastante subjetiva debido a que depende de la habilidad del conductor; entonces para realizar una estimación más sencilla, se utiliza el Abaco mostrado en la **figura 3-5**.

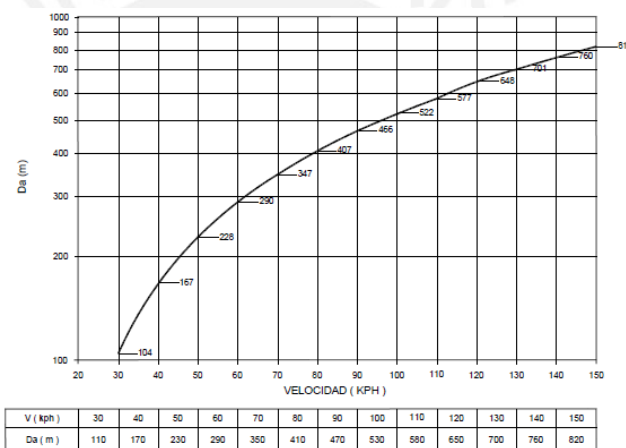


Figura 3-5 Distancia de visibilidad de paso vs. Velocidad de diseño (extraído del DG-2014)

3.12. RADIO MÍNIMO CURVAS HORIZONTALES

Al igual que las longitudes de tangentes, el radio mínimo se halla mediante una formula, la cual considera la velocidad de diseño (V), el peralte máximo (Pmax) y el coeficiente de fricción (fmax).

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \times (P_{max} + f_{max})}$$

En el manual también se encuentran los valores tabulados según su velocidad de diseño, los cuales se muestran a continuación en la **tabla 3-12**

Tabla 3-12 Radios mínimos para carreteras de tercera clase

velocidad específica (km/h)	peralte maximo (%)	coeficiente de fricción	radio minimo (m)
20	4	0.18	15
30		0.17	35
40		0.17	60
50		0.16	100
60		0.15	150
20	6	0.18	15
30		0.17	30
40		0.17	55
50		0.16	90
60		0.15	135
20	8	0.18	10
30		0.17	30
40		0.17	50
50		0.16	80
60		0.15	125
20	10	0.18	10
30		0.17	25
40		0.17	45
50		0.16	75
60		0.15	115
20	12	0.18	10
30		0.17	25
40		0.17	45
50		0.16	70
60		0.15	105

Siguiendo el criterio de la **tabla 3-12**, nuestro radio mínimo es de 75 metros.

3.13. LONGITUDES MÍNIMAS Y MÁXIMAS PARA CURVAS DE TRANSICIÓN

LONGITUD MÍNIMA DE ESPIRAL

$$L_{min} = 0.0178 \times V^3 / R$$

LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL

$$L_{max} = \sqrt{24 \times R}$$

Donde:

V: velocidad de diseño en km/h

R: radio de la curva horizontal

Las formulas mostradas anteriormente son solamente válidas para carreteras de tercera clase, como en este caso. En la **Tabla 3.13** se muestran las diferentes longitudes dependiendo de su radio, las cuales serán utilizadas en las alternativas.

Tabla 3-13 Longitudes Máximas y Mínimas de espirales

Radio Circular (m)	Espirales	
	L _{min} (m)	L _{max} (m)
75	30	42
76	29	43
77	29	43
78	29	43
79	28	44
80	28	44
81	27	44
82	27	44
83	27	45
84	26	45
85	26	45
86	26	45
87	26	46
88	25	46
89	25	46
90	25	46
91	24	47
92	24	47
93	24	47
94	24	47
95	23	48
96	23	48
97	23	48
98	23	48
99	22	49
100	22	49
110	20	51
120	19	54
130	17	56
140	16	58

Las curvas de transición no son necesarias cuando el radio circular sobrepasa un cierto valor. Este depende de la velocidad de diseño que se tiene. En la **Tabla 3-14** se muestra un cuadro con los radios en los que se puede prescindir de la curva de transición. En este caso, el radio máximo es de **150 metros**.

Tabla 3-14 Radios que permiten prescindir de la curva de transición en carreteras de tercera clase (extraída de la DG-2014)

V (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90
R (m)	24	55	95	150	210	290	380	480

3.14. LONGITUD CURVAS VERTICALES

Para el perfil longitudinal también se deben de diseñar las curvas verticales de la misma. El cálculo de las longitudes se hace mediante diferentes fórmulas para curvas cóncavas o convexas. En la **Tabla 3-15** se muestran las fórmulas que se usaran para el diseño.

Tabla 3-15 Formulas de Curvas Verticales (Adaptado de la DG-2014)

	Distancia de Parada (Dp)		Distancia de Adelantamiento	
	L < Dp	L > Dp	L < Da	L > Da
Curvas Convexas	$L = 2Dp - \frac{404}{A}$	$L = \frac{A * Dp^2}{404}$	$L = 2Da - \frac{946}{A}$	$L = \frac{A * Dp^2}{946}$
Curvas Cóncavas	$L = 2Dp - \frac{(120 - 3.5Dp)}{A}$	$L = \frac{A * Dp^2}{(120 - 3.5Dp)}$		

Además, según el criterio estético para curvas verticales, su longitud no debe ser menor a la velocidad de diseño de la vía; **50 metros** en este caso.

CAPITULO 4 : ALTERNATIVAS DE RUTA

4.1. PRIMERA ALTERNATIVA

4.1.1 DEFINICIÓN DE LA PENDIENTE DE DISEÑO

De acuerdo a la **tabla 3-9** Donde se muestran las pendientes longitudinales máximas que puede desarrollar una carretera, dependiendo de su tipo de orográfica y su clasificación con IMDA. La pendiente máxima de la vía a realizar es de 8%. Por fines prácticos, el diseño preliminar de esta alternativa se realizó con una pendiente de 6.67%, debido a la orografía escarpada se tomó un valor mayor a la mitad de la pendiente máxima (4%, lo cual sería lo ideal para iniciar el diseño). Para tener un margen de variación, la pendiente de diseño es menor que la máxima.

Con la pendiente de diseño se realiza la **línea de ceros** (trazo ideal con pendiente constante). Teniendo una separación de 10 metros entre cada curva de nivel, la longitud necesaria para mantener una inclinación del 6.67% es de 150m. En la **figura 4-1** muestra el trazo resultante.

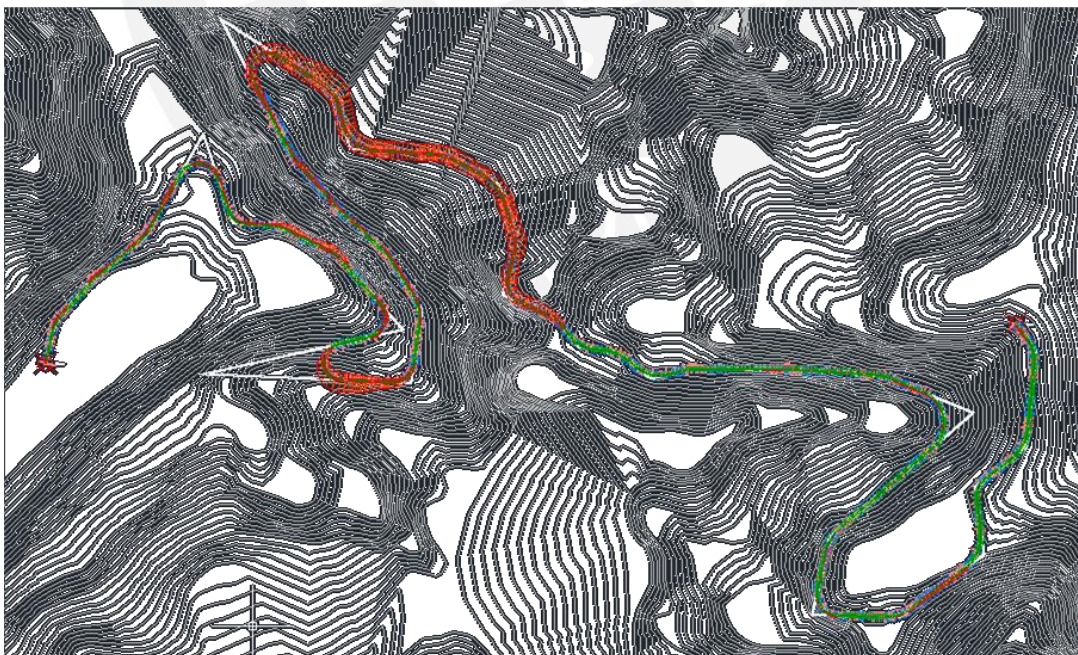


Figura 4-1 Alineamiento Horizontal de la Primera alternativa

4.1.2 LONGITUDES DE LA CARRETERA

DISTANCIA DE PARADA

La distancia de parada es muy importante para el desarrollo del diseño del trazo, puesto que se toma en cuenta como límite de las longitudes mínimas en tangentes y para calcular las longitudes de las curvas verticales. Para esta alternativa con pendiente de diseño de 6.67% es de 78 metros.

DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO

De acuerdo, a la **Figura 3-3** para una velocidad de diseño de 50 Km/h la distancia de adelantamiento es de 230 metros. Esto también se tomará en cuenta para las longitudes mínimas en tangentes y para calcular las longitudes de curvas verticales.

LONGITUDES DE TANGENTES, ESPIRALES Y CURVAS HORIZONTALES

En el apartado de **ANEXOS (Véase el Anexo 2)** se muestran todas longitudes de la tangentes y curvas presentes en la alternativa. Los cuales deben estar en el rango permitido por el manual DG-2014, para su velocidad y pendiente de diseño.

VELOCIDAD DE TOMA DE CURVAS HORIZONTALES

Estas velocidades han sido calculadas usando la formula descrita en el inciso RADIO MÍNIMO DE CURVAS HORIZONTALES en el capítulo 3. Esta fórmula que se encuentra en el manual de diseño, al ser reescrita, puede ser utilizada para estimar la velocidad de toma de curva.

$$V = \sqrt{127 \times R \times (P + f)}$$

En la **tabla 4-1** se muestra las velocidades de toma de curva de la alternativa. La máxima variación de velocidad entre curvas será uno de los factores para la elección de la alternativa definitiva

Tabla 4-1 Cuadro de velocidad de toma de curvas de la alternativa

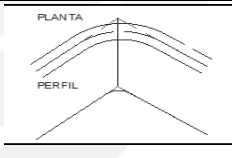
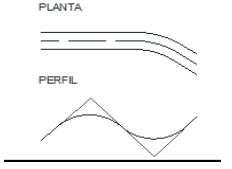
Número	Tipo	Radio (m)	f	Peralte	Velocidad (km/h)
2	Curva	150	0.16	0.059	64.59
4	Curva	200	0.16	0.044	71.98
6	Curva	200	0.16	0.044	71.98
8	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
10	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
12	Curva	150	0.16	0.059	64.59
14	Curva	200	0.16	0.044	71.98
16	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
18	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
20	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
22	Curva	200	0.16	0.044	71.98
24	Curva	150	0.16	0.059	64.59
26	Curva	200	0.16	0.044	71.98
28	Curva	200	0.16	0.044	71.98
30	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
32	Curva	150	0.16	0.059	64.59
34	Curva	150	0.16	0.059	64.59
36	Curva	200	0.16	0.044	71.98
38	Curva	200	0.16	0.044	71.98
40	Curva	150	0.16	0.059	64.59
42	Espiral-Curva-Espiral	100	0.16	0.088	56.12
44	Curva	150	0.16	0.059	64.59
46	Curva	150	0.16	0.059	64.59
48	Curva	150	0.16	0.059	64.59
50	Curva	150	0.16	0.059	64.59
52	Curva	200	0.16	0.044	71.98
54	Curva	150	0.16	0.059	64.59
56	Curva	150	0.16	0.059	64.59
58	Curva	150	0.16	0.059	64.59
60	Curva	200	0.16	0.044	71.98
62	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
64	Curva	150	0.16	0.059	64.59
66	Curva	200	0.16	0.044	71.98

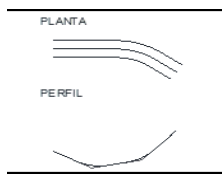
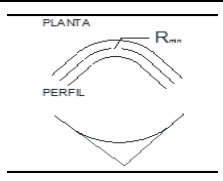
68	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
70	Curva	200	0.16	0.044	71.98
72	Curva	150	0.16	0.059	64.59

COORDINACIÓN DEL TRAZO DE PLANTA Y PERFIL

Esto es muy importante para brindar seguridad al usuario y dar estética al trazo. En la norma se enlistan las configuraciones favorables y desfavorables que se podrían encontrar en el trazo. Después de una revisión exhaustiva, indico para la alternativa todas aquellas configuraciones presentes en el trazo con su respectiva perspectiva en la **tabla 4-2** Este será un factor para la elección de la alternativa definitiva.

Tabla 4-2 Cuadro de configuraciones desfavorables presentes en la alternativa

Descripción	Perspectiva	Se presenta	
		Si	No
Alineación única en planta (tangente o curva) que contenga una curva vertical cóncava o convexa corta			X
Curva vertical convexa en coincidencia con un punto de inflexión en planta		X	
Tangente en planta con curvas convexa y cóncava consecutivas		X	
Tangente seguida de curva en planta en correspondencia con curvas convexa y cóncava			X
Alineamiento en curva, con desarrollo corto, que contenga una curva cóncava corta		X	

Conjunto de alineamientos en planta, en donde puede percibirse dos curvas verticales cóncavas o dos curvas verticales convexas simultáneamente			X
Curva horizontal de radio mínimo, próxima al punto más bajo de una curva vertical cóncava que conecte rasantes de pronunciadas pendientes		X	

LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES Y DE PERFIL LONGITUDINAL

En la **tabla 4-3** se mostrarán las longitudes de las curvas verticales calculadas por las fórmulas que se encuentran en la DG-2014 y los criterios descritos en ella. Como se indica en el **capítulo 3** en el apartado de curvas verticales se explica el criterio estético. El cual considera que la longitud mínima para curvas verticales convexas es igual a la velocidad de diseño considerada para la vía.

Tabla 4-3 Cálculo de curvas verticales

Numero	Pendiente			Longitud			Tipo	Criterio Estetico
	Entrada	Salida	A	Dp>L	Dp<L	Escogida		
1		0.00%	0.00%					
2	0.00%	5.52%	-5.52%	81.71	82.22	82.22	Concava	No aplica
3	5.52%	7.30%	-1.78%	-64.86	26.51	26.51	Concava	No aplica
4	7.30%	6.54%	0.76%	-380.11	10.79	10.79	Convexa	50
5	6.54%	6.50%	0.04%	-9948.53	0.57	0.57	Convexa	50
6	6.50%	1.51%	4.99%	70.50	70.84	70.84	Convexa	70.84
7	1.51%	7.07%	-5.56%	82.21	82.81	82.81	Concava	No aplica
8	7.07%	7.68%	-0.61%	-479.79	9.09	9.09	Concava	No aplica
9	7.68%	2.29%	5.39%	76.51	76.52	76.52	Convexa	76.52
10	2.29%	7.00%	-4.71%	69.71	70.15	70.15	Concava	No aplica
11	7.00%	7.79%	-0.79%	-335.96	11.77	11.77	Concava	No aplica
12	7.79%	7.93%	-0.14%	-2599.00	2.09	2.09	Concava	No aplica
13	7.93%	7.64%	0.29%	-1241.64	4.12	4.12	Convexa	50
14	7.64%	6.59%	1.05%	-233.30	14.91	14.91	Convexa	50
15	6.59%	6.35%	0.24%	-1531.87	3.41	3.41	Convexa	50
16	6.35%	8.00%	-1.65%	-81.91	24.58	24.58	Concava	No aplica
17	8.00%	-7.72%	15.72%	125.77	223.17	223.17	Convexa	223.17
18	-7.72%	-6.22%	-1.50%	-105.24	22.34	22.34	Concava	No aplica
19	-6.22%	-7.93%	1.71%	-84.79	24.28	24.28	Convexa	50
20	-7.93%	6.92%	-14.85%	125.54	221.19	221.19	Concava	No aplica
21	6.92%	-7.41%	14.33%	123.27	203.44	203.44	Convexa	203.44
22	-7.41%	-7.98%	0.57%	-557.31	8.09	8.09	Convexa	50
23	-7.98%	-3.82%	-4.16%	58.90	61.96	61.96	Concava	No aplica
24	-3.82%	-5.65%	1.83%	-69.30	25.98	25.98	Convexa	50
25	-5.65%	-6.84%	1.19%	-188.03	16.89	16.89	Convexa	50
26	-6.84%	-10.95%	4.11%	53.17	58.35	58.35	Convexa	58.35
27	-10.95%	-2.79%	-8.16%	104.28	121.54	121.54	Concava	No aplica
28	-2.79%							

4.1.3 DIAGRAMA DE MASAS

En la **figura 4-2** se muestra el diagrama de masas calculado por el programa AutoCAD Civil 3D con un factor de esponjamiento de **1.40** para el material cortado y un factor de compactación de **0.95** para el material de relleno. El volumen acumulado en la última progresiva es de **5'307,171.9** metros cúbicos de material. La cantidad calculada será uno de los factores a tomar en cuenta en la elección del trazo final.

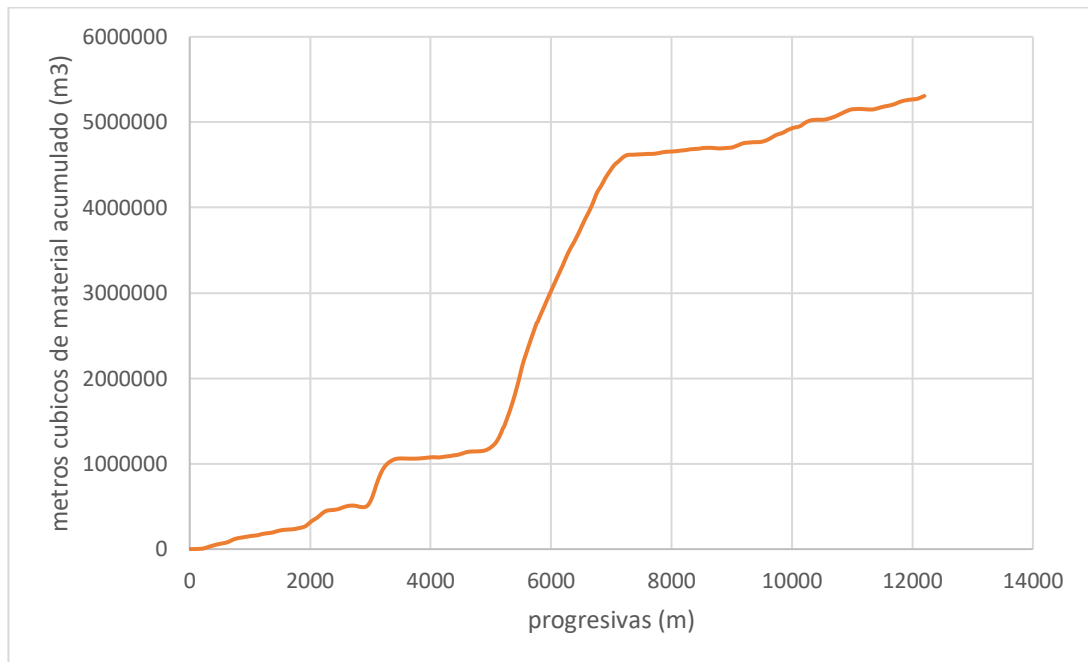


Figura 4-2 Diagrama de Masas sin equilibrar de la primera alternativa

4.2. SEGUNDA ALTERNATIVA

4.2.1 DEFINICIÓN DE LA PENDIENTE DE DISEÑO

De acuerdo a la **tabla 3-9** Donde se muestran las pendientes longitudinales máximas que puede desarrollar una carretera, dependiendo de su tipo de orografía y su clasificación con IMDA. La pendiente máxima de la vía a realizar es de 8%. Por fines prácticos, el diseño preliminar de esta alternativa se realizó con una pendiente de 6.25%, debido a la orografía accidentada se tomó un valor mayor a la mitad de la pendiente máxima. Para tener un radio menor y sortear obstáculos sin causar grandes variaciones de pendientes.

Esta inclinación permitirá realizar nuestra **línea de ceros**. Teniendo una separación de 10 metros entre cada curva de nivel, la longitud necesaria para mantener una inclinación del 6.25% es de 160m. En la **figura 4-3** muestra el trazo resultante.

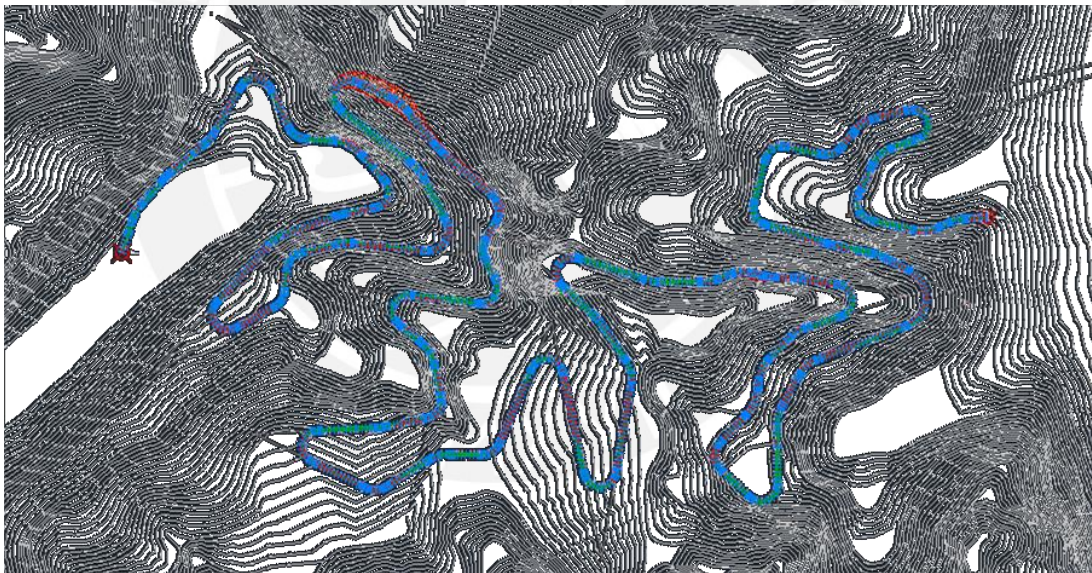


Figura 4-3 Alineamiento horizontal de la segunda alternativa

4.2.2 LONGITUDES DE LA CARRETERA

DISTANCIA DE PARADA

La distancia de parada es muy importante para el desarrollo del diseño del trazo, puesto que se toma en cuenta como límite de las longitudes mínimas en tangentes y para calcular las longitudes de las curvas verticales. Para esta alternativa con pendiente de diseño de 6.25% es de 79 metros.

DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO

De acuerdo, a la **Figura 3-3** para una velocidad de diseño de 50 Km/h la distancia de adelantamiento es de 230 metros. Esto también se tomará en cuenta para las longitudes mínimas en tangentes y para calcular las longitudes de curvas verticales.

LONGITUDES DE TANGENTES, ESPIRALES Y CURVAS HORIZONTALES

En el apartado de **ANEXOS (Véase el Anexo 3)** se muestran todas longitudes de la tangentes y curvas presentes en la alternativa. Los cuales deben estar en el rango permitido por el manual DG-2014, para su velocidad y pendiente de diseño.

VELOCIDAD DE TOMA DE CURVAS HORIZONTALES

Estas velocidades han sido calculadas usando la formula descrita en el inciso RADIO MÍNIMO DE CURVAS HORIZONTALES en el capítulo 3. Esta fórmula que se encuentra en el manual de diseño, al ser reescrita, puede ser utilizada para estimar la velocidad de toma de curva.

$$V = \sqrt{127 \times R \times (P + f)}$$

En la **tabla 4-4** se muestra las velocidades de toma de curva de la alternativa. La máxima variación de velocidad entre curvas será uno de los factores para la elección de la alternativa definitiva

Tabla 4-4 Cuadro de velocidad de toma de curvas de la alternativa

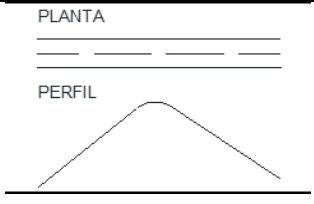
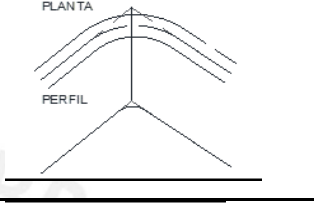
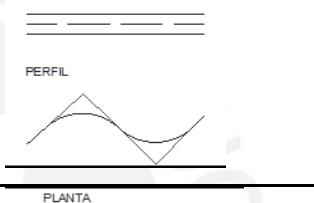
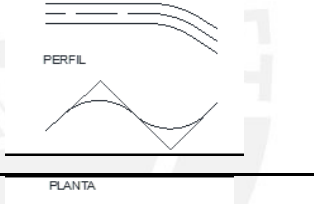
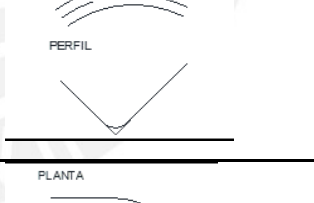
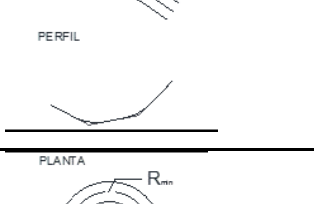

Número	Tipo	Radio (m)	f	Peralte	Velocidad (km/h)
2	Curva	200	0.16	0.044	71.98
4	Curva	200	0.16	0.044	71.98
6	Curva	150	0.16	0.059	64.59
8	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
10	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
12	Curva	200	0.16	0.044	71.98
14	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
16	Curva	200	0.16	0.044	71.98
18	Curva	150	0.16	0.059	64.59
20	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
22	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
24	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
26	Curva	200	0.16	0.044	71.98
28	Espiral-Curva-Espiral	100	0.16	0.088	56.12
30	Curva	200	0.16	0.044	71.98
32	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
34	Curva	200	0.16	0.044	71.98
36	Curva	200	0.16	0.044	71.98
38	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
40	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
42	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
44	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
46	Curva	150	0.16	0.059	64.59
48	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
50	Curva	200	0.16	0.044	71.98
52	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
54	Espiral-Curva-Espiral	100	0.16	0.088	56.12
56	Curva	150	0.16	0.059	64.59
58	Espiral-Curva-Espiral	85	0.16	0.104	53.38
60	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
62	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
64	Curva	150	0.16	0.059	64.59
66	Curva	200	0.16	0.044	71.98

68	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
70	Curva	200	0.16	0.044	71.98
72	Curva	200	0.16	0.044	71.98
74	Curva	150	0.16	0.059	64.59
76	Curva	200	0.16	0.044	71.98
78	Curva	200	0.16	0.044	71.98
80	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
82	Curva	150	0.16	0.059	64.59
84	Curva	150	0.16	0.059	64.59
86	Curva	200	0.16	0.044	71.98
88	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
90	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
92	Curva	150	0.16	0.059	64.59
94	Curva	150	0.16	0.059	64.59
96	Curva	150	0.16	0.059	64.59
98	Curva	150	0.16	0.059	64.59
100	Curva	200	0.16	0.044	71.98
102	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
104	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
106	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
108	Curva	150	0.16	0.059	64.59
110	Espiral-Curva-Espiral	75	0.16	0.118	51.46
112	Curva	150	0.16	0.059	64.59
114	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
116	Curva	200	0.16	0.044	71.98
118	Curva	200	0.16	0.044	71.98

COORDINACIÓN DEL TRAZO DE PLANTA Y PERFIL

Esto es muy importante para brindar seguridad al usuario y dar estética al trazo. En la norma se enlistan las configuraciones favorables y desfavorables que se podrían encontrar en el trazo. Después de una revisión exhaustiva, indico para la alternativa todas aquellas configuraciones presentes en el trazo con su respectiva perspectiva en la **tabla 4-5** Este será un factor para la elección de la alternativa definitiva.

Tabla 4-5 Cuadro de configuraciones desfavorables presentes en la alternativa

Descripción	Perspectiva	Se presenta	
		Si	No
Alineación única en planta (tangente o curva) que contenga una curva vertical cóncava o convexa corta			X
Curva vertical convexa en coincidencia con un punto de inflexión en planta		X	
Tangente en planta con curvas convexa y cóncava consecutivas		X	
Tangente seguida de curva en planta en correspondencia con curvas convexa y cóncava		X	
Alineamiento en curva, con desarrollo corto, que contenga una curva cóncava corta		X	
Conjunto de alineamientos en planta, en donde puede percibirse dos curvas verticales cóncavas o dos curvas verticales convexas simultáneamente		X	
Curva horizontal de radio mínimo, próxima al punto más bajo de una curva vertical cóncava que conecte rasantes de pronunciadas pendientes		X	

LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES Y DE PERFIL LONGITUDINAL

En la **tabla 4-6** se mostrarán las longitudes de las curvas verticales calculadas por

las fórmulas que se encuentran en la DG-2014 y los criterios descritos en ella. Como se indica en el **capítulo 3** en el apartado de curvas verticales se explica el criterio estético. El cual considera que la longitud mínima para curvas verticales convexas es igual a la velocidad de diseño considerada para la vía.

Tabla 4-6 Longitud de las curvas verticales calculadas

Numero	Pendiente			Longitud			Tipo	Criterio Estetico
	Entrada	Salida	A	Dp>L	Dp<L	Escogida		
1		0.71%						
2	0.71%	7.88%	-7.17%	97.76	106.80	106.80	Concava	No aplica
3	7.88%	-2.87%	10.75%	113.88	152.61	152.61	Convexa	152.6139454
4	-2.87%	5.84%	-8.71%	107.26	129.73	129.73	Concava	No aplica
5	5.84%	-2.48%	8.32%	102.91	118.12	118.12	Convexa	118.1160954
6	-2.48%	5.80%	-8.28%	104.96	123.33	123.33	Concava	No aplica
7	5.80%	-0.21%	6.01%	84.24	85.32	85.32	Convexa	85.32184294
8	-0.21%	7.26%	-7.47%	99.92	111.26	111.26	Concava	No aplica
9	7.26%	7.82%	-0.56%	-536.15	8.34	8.34	Concava	No aplica
10	7.82%	2.28%	5.54%	78.54	78.65	78.65	Convexa	78.64941928
11	2.28%	0.81%	1.47%	-123.36	20.87	20.87	Convexa	50
12	0.81%	8.41%	-7.60%	100.80	113.20	113.20	Concava	No aplica
13	8.41%	3.10%	5.31%	75.38	75.38	75.38	Convexa	75.38419069
14	3.10%	-0.45%	3.55%	37.66	50.40	50.40	Convexa	50.39809358
15	-0.45%	5.54%	-5.99%	87.18	89.22	89.22	Concava	No aplica
16	5.54%	-0.48%	6.02%	84.36	85.46	85.46	Convexa	85.4638094
17	-0.48%	7.35%	-7.83%	102.29	116.63	116.63	Concava	No aplica
18	7.35%	6.78%	0.57%	-557.31	8.09	8.09	Convexa	50
19	6.78%	-3.15%	9.93%	110.78	140.97	140.97	Convexa	140.9726956
20	-3.15%	7.02%	-10.17%	113.60	151.48	151.48	Concava	No aplica
21	7.02%	7.25%	-0.23%	-1522.73	3.43	3.43	Concava	No aplica
22	7.25%	7.80%	-0.55%	-548.65	8.19	8.19	Concava	No aplica
23	7.80%	5.29%	2.51%	-9.49	35.63	35.63	Convexa	50
24	5.29%	-0.15%	5.44%	77.20	77.23	77.23	Convexa	77.22975468
25	-0.15%	-6.10%	5.95%	83.57	84.47	84.47	Convexa	84.47004418
26	-6.10%	-2.62%	-3.48%	40.81	51.83	51.83	Concava	No aplica
27	-2.62%	-4.73%	2.11%	-40.00	29.95	29.95	Convexa	50
28	-4.73%	-1.09%	-3.64%	45.68	54.22	54.22	Concava	No aplica
29	-1.09%	-5.84%	4.75%	66.41	67.43	67.43	Convexa	67.43406888
30	-5.84%	-3.75%	-2.09%	-32.78	31.13	31.13	Concava	No aplica
31	-3.75%	-1.69%	-2.06%	-35.46	30.68	30.68	Concava	No aplica
32	-1.69%	-7.08%	5.39%	76.51	76.52	76.52	Convexa	76.51992237
33	-7.08%	0.00%	-7.08%	97.08	105.45	105.45	Concava	No aplica
34	0.00%	-7.24%	7.24%	95.66	102.78	102.78	Convexa	102.7837176
35	-7.24%	-7.16%	-0.08%	-4661.84	1.19	1.19	Concava	No aplica
36	-7.16%							

4.2.3 DIAGRAMA DE MASAS

En la **figura 4-4** se muestra el diagrama de masas calculado por el programa AutoCAD Civil 3D con un factor de esponjamiento de **1.40** para el material cortado y un factor de compactación de **0.95** para el material de relleno. El volumen acumulado en la última progresiva es de **1'306,687.7** metros cúbicos de material. La cantidad calculada será uno de los factores a tomar en cuenta en la elección del trazo final.

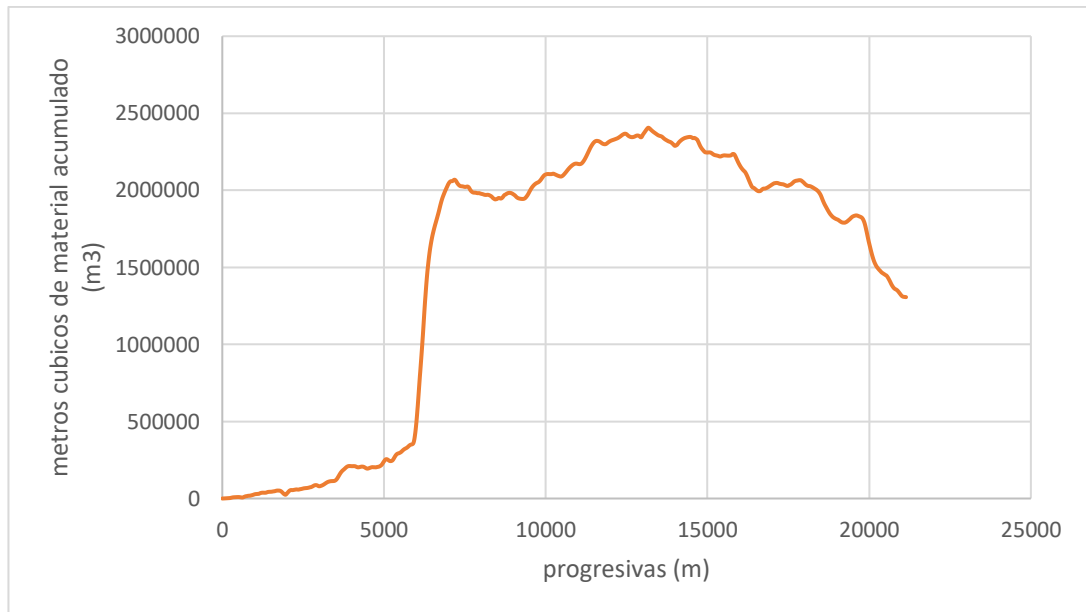


Figura 4-4 Diagrama de Masas sin equilibrar de la segunda alternativa

4.3. TERCERA ALTERNATIVA

4.3.1 DEFINICIÓN DE LA PENDIENTE DE DISEÑO

De acuerdo a la **tabla 3.9** Donde se muestran las pendientes longitudinales máximas que puede desarrollar una carretera, dependiendo de su tipo de orográfica y su clasificación con IMDA. La pendiente máxima de la vía a realizar es de 8%. Debido a los resultados anteriores, se tomó un criterio distinto para realizar el trazo horizontal; el cual se basó en el realizar tramos de distintas longitudes dependiendo de la topografía que se presentaba en la zona de cruce. La pendiente promedio de estos diferentes tramos es de 5.25%. En otras palabras, no se realizó **línea de ceros**.

Teniendo una separación de 10 metros entre cada curva de nivel, la longitud promedio que se utilizó fue de 190.5 metros. En la **figura 4-5** muestra el trazo resultante.

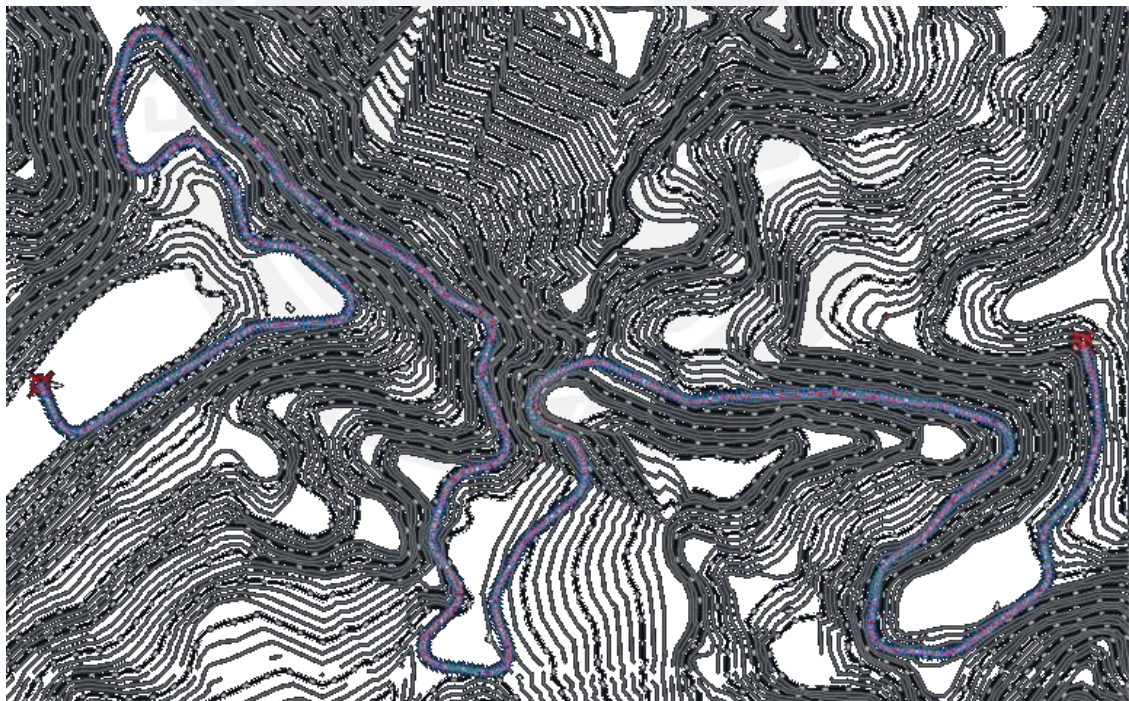


Figura 4-5 Alineamiento Horizontal de la Tercera alternativa

4.3.2 LONGITUDES DE LA CARRETERA

DISTANCIA DE PARADA

La distancia de parada es muy importante para el desarrollo del diseño del trazo, puesto que se toma en cuenta como límite de las longitudes mínimas en tangentes y para calcular las longitudes de las curvas verticales. Para esta alternativa con pendiente promedio 5.25% es de 81 metros.

DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO

De acuerdo, a la **Figura 3-3** para una velocidad de diseño de 50 Km/h la distancia de adelantamiento es de 230 metros. Esto también se tomará en cuenta para las longitudes mínimas en tangentes y para calcular las longitudes de curvas verticales.

LONGITUDES DE TANGENTES, ESPIRALES Y CURVAS HORIZONTALES

En el apartado de **ANEXOS (Véase el Anexo 4)** se muestran todas longitudes y radios presentes en la alternativa. Los cuales deben estar en el rango permitido por el manual DG-2014. Además, se indicará la velocidad a la que se toman las curvas.

VELOCIDAD DE TOMA DE CURVAS HORIZONTALES

Estas velocidades han sido calculadas usando la formula descrita en el inciso RADIO MÍNIMO DE CURVAS HORIZONTALES en el capítulo 3. Esta fórmula que se encuentra en el manual de diseño, al ser reescrita, puede ser utilizada para estimar la velocidad de toma de curva.

$$V = \sqrt{127 \times R \times (P + f)}$$

En la **tabla 4-7** se muestra las velocidades de toma de curva de la alternativa. La máxima variación de velocidad entre curvas será uno de los factores para la elección de la alternativa definitiva

Tabla 4-7 Cuadro de velocidad de toma de curvas de la alternativa

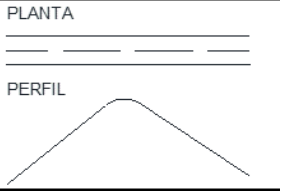
Numero	Tipo	Radio (m)	f	Peralte	Velocidad (km/h)
2.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
4	Curva	150	0.16	0.059	64.59
6.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
8	Curva	150	0.16	0.059	64.59
10.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
12	Curva	150	0.16	0.059	64.59
14.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
16.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
18	Curva	200	0.16	0.044	71.98
20.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
22	Curva	200	0.16	0.044	71.98
24	Curva	200	0.16	0.044	71.98
26	Curva	200	0.16	0.044	71.98
28	Curva	200	0.16	0.044	71.98
30	Curva	200	0.16	0.044	71.98
32	Curva	200	0.16	0.044	71.98
34	Curva	200	0.16	0.044	71.98
36	Curva	200	0.16	0.044	71.98
38.2	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
40	Curva	150	0.16	0.059	64.59
42.2	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
44	Curva	150	0.16	0.059	64.59
46.2	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
48.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
50.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
52.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
54	Curva	150	0.16	0.059	64.59
56	Curva	200	0.16	0.044	71.98
59	Curva	113.084	0.16	0.078	58.46
61	Curva	106.172	0.16	0.083	57.24
63	Curva	101.982	0.16	0.087	56.56
65	Curva	150	0.16	0.059	64.59
67	Curva	150	0.16	0.059	64.59

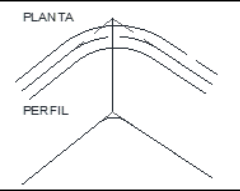
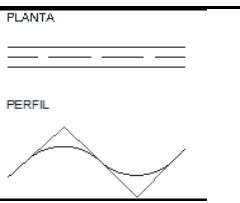
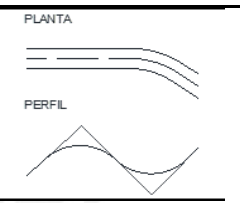
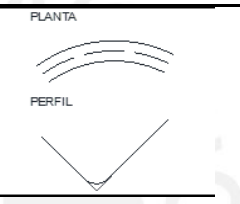
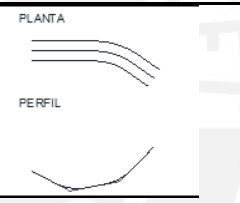
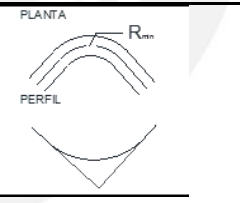
69	Curva	200	0.16	0.044	71.98
71	Curva	150	0.16	0.059	64.59
73	Curva	200	0.16	0.044	71.98
75	Curva	200	0.16	0.044	71.98
77.2	Espiral-Curva-Espiral	100	0.16	0.088	56.12
79	Curva	200	0.16	0.044	71.98
81	Curva	200	0.16	0.044	71.98
83	Curva	150	0.16	0.059	64.59
85.2	Espiral-Curva-Espiral	100	0.16	0.088	56.12
87	Curva	200	0.16	0.044	71.98
89.2	Espiral-Curva-Espiral	80	0.16	0.111	52.47
91.2	Espiral-Curva-Espiral	90	0.16	0.098	54.30
93	Curva	200	0.16	0.044	71.98
95	Curva	200	0.16	0.044	71.98
97	Curva	200	0.16	0.044	71.98

COORDINACIÓN DEL TRAZO DE PLANTA Y PERFIL

Esto es muy importante para brindar seguridad al usuario y dar estética al trazo. En la norma se enlistan las configuraciones favorables y desfavorables que se podrían encontrar en el trazo. Después de una revisión exhaustiva, indico para la alternativa todas aquellas configuraciones presentes en el trazo con su respectiva perspectiva en la **tabla 4-8**. Este será un factor para la elección de la alternativa definitiva.

Tabla 4-8 Cuadro de configuraciones desfavorables presentes en la alternativa

Descripción	Perspectiva	Se presenta	
		Si	No
Alineación única en planta (tangente o curva) que contenga una curva vertical cóncava o convexa corta			X

Curva vertical convexa en coincidencia con un punto de inflexión en planta			X
Tangente en planta con curvas convexa y cóncava consecutivas		X	
Tangente seguida de curva en planta en correspondencia con curvas convexa y cóncava		X	
Alineamiento en curva, con desarrollo corto, que contenga una curva cóncava corta			X
Conjunto de alineamientos en planta, en donde puede percibirse dos curvas verticales cóncavas o dos curvas verticales convexas simultáneamente			X
Curva horizontal de radio mínimo, próxima al punto más bajo de una curva vertical cóncava que conecte rasantes de pronunciadas pendientes			X

LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES Y DE PERFIL LONGITUDINAL

En la **tabla 4-9** se mostrarán las longitudes de las curvas verticales calculadas por las fórmulas que se encuentran en la DG-2014 y los criterios descritos en ella. Como se indica en el **capítulo 3** en el apartado de curvas verticales se explica el criterio estético. El cual considera que la longitud mínima para curvas verticales convexas es igual a la velocidad de diseño considerada para la vía.

Tabla 4-9 Cuadro de Longitud de curvas Verticales

Numero	Pendiente			Longitud			Tipo	Criterio Estético
	Entrada	Salida	A	Dp>L	Dp<L	Escogida		
1		1.06%	-1.06%					
2	1.06%	6.10%	-5.04%	75.06	75.07	75.07	Cóncava	No aplica
3	6.10%	-0.79%	6.89%	92.83	97.81	97.81	Convexa	97.81
4	-0.79%	5.80%	-6.59%	93.03	98.16	98.16	Cóncava	No aplica
5	5.80%	0.06%	5.74%	81.08	81.49	81.49	Convexa	81.49
6	0.06%	6.11%	-6.05%	87.82	90.11	90.11	Cóncava	No aplica
7	6.11%	-1.18%	7.29%	96.05	103.49	103.49	Convexa	103.49
8	-1.18%	2.64%	-3.82%	50.66	56.90	56.90	Cóncava	No aplica
9	2.64%	8.72%	-6.08%	88.13	90.56	90.56	Cóncava	No aplica
10	8.72%	2.21%	6.51%	89.41	92.42	92.42	Convexa	92.42
11	2.21%	8.82%	-6.61%	93.21	98.45	98.45	Cóncava	No aplica
12	8.82%	-1.69%	10.51%	113.03	149.21	149.21	Convexa	149.21
13	-1.69%	8.87%	-10.56%	115.00	157.29	157.29	Cóncava	No aplica
14	8.87%	0.95%	7.92%	100.46	112.44	112.44	Convexa	112.44
15	0.95%	4.44%	-3.49%	41.13	51.98	51.98	Cóncava	No aplica
16	4.44%	8.53%	-4.09%	57.32	60.92	60.92	Cóncava	No aplica
17	8.53%	2.54%	5.99%	84.02	85.04	85.04	Convexa	85.04
18	2.54%	-6.56%	9.10%	107.07	129.19	129.19	Convexa	129.19
19	-6.56%	-3.87%	-2.69%	8.32	40.07	40.07	Cóncava	No aplica
20	-3.87%	-7.20%	3.33%	30.14	47.27	47.27	Convexa	50
21	-7.20%	-9.02%	1.82%	-70.51	25.84	25.84	Convexa	50
22	-9.02%	-6.08%	-2.94%	20.49	43.79	43.79	Cóncava	No aplica
23	-6.08%	-0.05%	-6.03%	87.61	89.82	89.82	Cóncava	No aplica
24	-0.05%	-7.98%	7.93%	100.52	112.58	112.58	Convexa	112.58
25	-7.98%	-6.96%	-1.02%	-226.05	15.19	15.19	Cóncava	No aplica
26	-6.96%	-1.42%	-5.54%	81.96	82.52	82.52	Cóncava	No aplica
27	-1.42%							

4.3.3 DIAGRAMA DE MASAS

En la **figura 4-6** se muestra el diagrama de masas calculado por el programa AutoCAD Civil 3D con un factor de esponjamiento de **1.40** para el material cortado y un factor de compactación de **0.95** para el material de relleno. El volumen acumulado en la última progresiva es de **752,334.15** metros cúbicos de material. La cantidad calculada será uno de los factores a tomar en cuenta en la elección del trazo final.

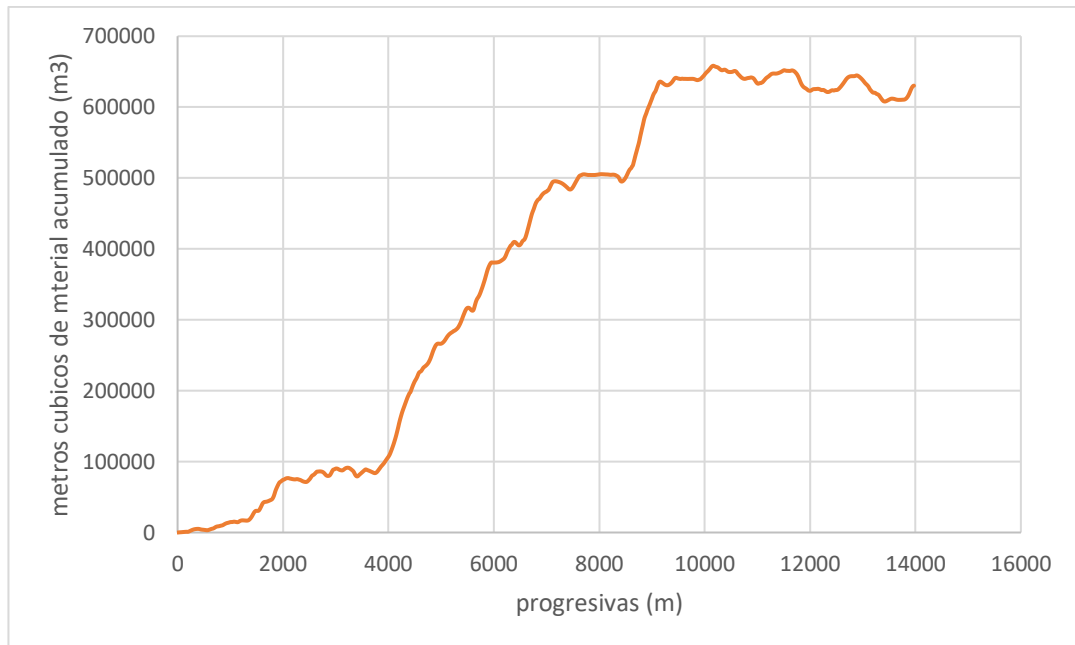


Figura 4-6 Diagrama de Masas sin equilibrar de la tercera alternativa

CAPITULO 5 : ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS

En este capítulo se seleccionará la alternativa definitiva del diseño geométrico de la carretera para los cálculos siguientes de las estructuras complementarias y de los niveles de servicio de la vía. Para lo cual se realizará un estimado del costo en nuevos soles (S/.) del movimiento de tierras de cada alternativa. Para el estimado se considerará el costo de excavación, el costo de relleno, el transporte de material y la compactación del relleno.

Para escoger a la alternativa más adecuada se seguirá un método de “puntos”, para los diferentes criterios se elegirá una alternativa con lo cual obtendrá un “punto”; la alternativa con más puntos será la definitiva para el resto del proyecto

Debido a la geología del lugar (terreno rocoso), se está asumiendo que el material de corte es reusable como material de relleno; y que el material excedente será eliminado en botaderos naturales.

5.1. LONGITUD Y TIEMPO DE VIAJE

La longitud es un factor fundamental para determinar la viabilidad de un camino, puesto que lo que se busca es reducir lo más posible el tiempo de viaje entre 2 puntos. Para este trabajo, se asume una velocidad de marcha para las tres alternativas, para estimar el tiempo de viaje lo cual está directamente relacionado con la longitud de cada alternativa. Esta velocidad de marcha se extrae de la norma de diseño DG-2014, la cual es de 45 km/h. La **tabla 5-1** muestra el cuadro comparativo para seleccionar la mejor alternativa.

Tabla 5-1 Cuadro comparativo de longitud y tiempo de viaje

Alternativa	Longitud (km)	Velocidad de Marcha (km/h)	Tiempo de Viaje		Puntos
			Horas	Minutos	
Primera	12.19756	45	0.271	16.26	X
Segunda	21.14028	45	0.470	28.19	
Tercera	13.97129	45	0.310	18.63	

5.2. VOLUMEN DE MATERIAL ACUMULADO POR KILOMETRO

Debido a que las tres alternativas cuentan con diferentes cantidades de kilómetros, sería erróneo comparar sus volúmenes acumulados totales, puesto que esto puede dar una percepción equivocada de que ruta genera más movimientos de tierra (una ruta más larga tendrá un volumen acumulado mayor, pero no quiere decir su costo será mayor). Para ello se divide el volumen acumulado entre la longitud total de la vía. Resultando el movimiento de tierras promedio por kilómetro. A continuación, se tiene la **tabla 5-2** el cual compara las tres alternativas, en cuanto volumen acumulado total y por kilómetro.

Tabla 5-2 Cuadro comparativo de volúmenes acumulados

Alternativa	Volumen de material Acumulado (m3)	Punto	Volumen de material Acumulado por kilómetro (m3/km)	Punto
Primera	5'307,171.9		435,101.076	
Segunda	1'306,687.7		618,10.331	
Tercera	630,227.89	x	45,108.770	x

Se puede notar una gran diferencia entre las tres alternativas; sin embargo, el cambio más dramático es el de la tercera opción. Esto se debe a que se utilizó un criterio distinto que las otras dos alternativas. Se dejó de lado la línea de ceros, el cual en esta ocasión complico la zona de las curvas generando una completa descompensación de movimiento de tierras. Los cuales tendrían que incluir un túnel para ser una alternativa viable. Por otro lado, el uso de trazos más cortos en zonas más empinadas, trazos más largos en zonas más llanas y tomar áreas planas para las curvas cerradas ayudo en gran medida a la reducción del volumen acumulado final. Dado que en las tres alternativas ha resultado un volumen acumulado en corte, no se necesitará localizar canteras en la zona, sin embargo, es necesario la localización de botaderos para el exceso de material de corte en cada ruta.

5.3. LOCALIZACIÓN DE BOTADEROS

Los botaderos son importantes puesto que permite eliminar el material de corte excedente; y su localización influirá directamente en el costo de transporte del material. Mientras más cerca de la obra se encuentren los botaderos más ahorro en transporte se podrá obtener.

Para este trabajo se consideran botaderos, depresiones naturales planas en el terreno que permitan la acumulación de desperdicios. Además, no debe de afectar zonas arqueológicas, paisajísticas o ecosistemas en peligro. Debido a los resultados obtenidos en los diagramas de masas de las tres alternativas, se ha obviado la localización de canteras cerca de la zona de trabajo.

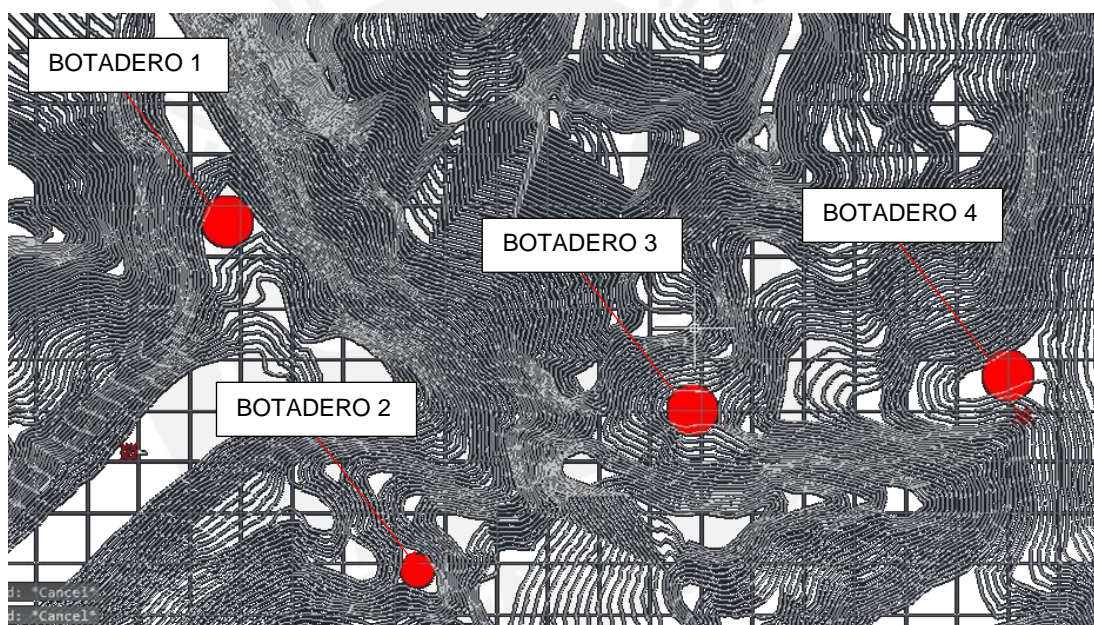


Figura 5-1 Localización de botaderos

En esta zona se han podido localizar cuatro botaderos, lo cuales están señalados en la **figura 5-1** con círculos rojos. De forma referencial, se adjunta las secciones de cada botadero localizado en el apartado de **ANEXOS. (Véase Anexo 5)**

CAPACIDAD DE LOS BOTADEROS

Para calcular la capacidad de cada botadero, se está asumiendo una forma en **tronco de pirámide cuadrada**, esto simplificará el cálculo del volumen de capacidad. Para las dimensiones se tomó en cuenta la topografía del lugar. En la **tabla 5-3** se

muestra un cuadro con las capacidades de cada botadero en metros cúbicos de material y la capacidad total del mismo.

Tabla 5-3 Cuadro de Capacidades estimadas de los botaderos de la zona

BOTADERO	CAPACIDAD (m3)	lado base mayor (m)	lado base menor (m)	Altura (m)
1	2071500	215	155	60
2	744000	140	80	60
3	1368000	180	120	60
4	2299500	225	165	60
TOTAL	6483000			

DISTANCIA A LAS ALTERNATIVAS

Cada alternativa tendrá a disposiciones los botaderos, en la **tabla 5-4** se compara la distancia de los botaderos a la zona de trabajo de cada alternativa esto se volverá a comparar en el acápite de **Costo De Transporte De Material** de forma más detallada.

Tabla 5-4 Cuadro de distancias a los botaderos por alternativa

Alternativa	Botadero 1 (progresiva)	Distancia (m)	Botadero 2 (progresiva)	Distancia (m)	Botadero 3 (progresiva)	Distancia (m)	Botadero 4 (progresiva)	Distancia (m)
Primera	4+700	2535.22	2+780	717.48	7+040	650.67	12+197.56	484.95
Segunda	5+680	883.54	Inaccesible		13+300	1147.4	Inaccesible	
Tercera	2+572	170.8	inaccesible		inaccesible		13+971.29	484.95

Basándose en este cuadro y tomando únicamente la distancia al botadero de la alternativa, se elegiría a la tercera opción de trazo puesto que es la que se encuentra más cerca de su botadero correspondiente. Además, tomando en cuenta el número de botaderos necesarios para eliminar el material excedente, se elegiría también la tercera opción puesto que solo requiere de un botadero, en comparación con la primera y la segunda que requieren de 4 y 2 botaderos respectivamente.

5.4. ANÁLISIS DE COSTO ESTIMADO DE LAS ALTERNATIVAS

DISTANCIA LIBRE DE TRANSPORTE

Es la distancia en la cual el movimiento de tierras no tiene costo. Está definida por el gobierno y es independiente del contrato del proyecto. La distancia considerada para el proyecto es de **120** metros. Y se tomara en cuenta para el cálculo de la distancia de sobre acarreo.

DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE

Es la distancia promedio para movilizar cierto volumen de material de corte y transportarlo a una zona de relleno o aun botadero. Esta distancia se halla con el centro de gravedad de la región encerrada del diagrama de masas de la vía. En la **tabla 5.4** se muestra lo DMT de todas las alternativas y su respectivo volumen de material. Con estos datos se obtiene el momento de transporte, este será el principal parámetro para estimar el costo de las alternativas.

DISTANCIA DE SOBRE ACARREO

Es la diferencia de la distancia media de transporte y la distancia libre de transporte, Y esta es la distancia con la cual se calcula el costo de movimiento de tierras. En la **tabla 5-5, tabla 5-6 y tabla 5-7** se muestran las distancias de sobre acarreo de las alternativas.

Tabla 5-5 Distancia media de Transporte y Sobreacarreo de la primera alternativa y volúmenes a movilizar

PRIMERA ALTERNATIVA	VOLUMEN A ELIMINAR (m ³)	MOMENTO (m ³ -Km)	D≤1 Km	D >1 Km
	5302270.15	8505862.7	8457205.77	3422719.52
DISTANCIA DE SOBRECARRERO (km)	1.604		1.60	0.65
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (km)	1.724		1.72	0.77

Tabla 5-6 Distancia media de Transporte y Sobreacarreo de la segunda alternativa y volúmenes a movilizar

SEGUNDA ALTERNATIVA	VOLUMEN A ELIMINAR (m ³)	MOMENTO (m ³ -Km)	D<=1 Km	D >1 Km
	1306703.89	6448094.04	- 2030885.2	- 3329210.66
DISTANCIA DE SOBRECARREO (km)	4.935		-1.554	-2.548
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (km)	5.055		-1.43	-2.43

Tabla 5-7 Distancia media de Transporte y Sobreacarreo de la tercera alternativa y volúmenes a movilizar

TERCERA ALTERNATIVA	VOLUMEN A ELIMINAR (m ³)	MOMENTO (m ³ -Km)	D<=1 Km	D >1 Km
	629979.29	2469200.56	2007892.94	1407449.76
DISTANCIA DE SOBRECARREO (km)	3.919		3.187	2.234
DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (km)	4.039		3.31	2.35

COSTO DE CADA ALTERNATIVA

Para calcular el costo, se debe de multiplicar las distancias de sobre acarreo con el volumen a movilizar con una constante que es el costo de movilizar un metro cubico de material a una distancia de un kilómetro. Esta constante se debe obtener comparando los precios del mercado. Puesto que no se tuvo acceso a esta información se estimó este valor con costos de movimientos de tierra de proyectos de carreteras similares. Y se adaptó con cálculos rápidos a las unidades de la constante necesitada; estos cálculos se encuentran en la **tabla 5-8**.

Tabla 5-8 Estimación de la Constante de Costo para el proyecto

Traslado de material a 1 kilómetro de distancia					
Descripción	Cantidad (und.)	Tiempo (hr)	Costo unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)	Costo total (S/.)
Controlador	1.00	0.17	14.70	2.45	99.12
Cargador frontal	1.00	0.17	200.00	33.33	
Volquete (10 m3)	1.00	0.33	190.00	63.33	
Gastos generales					9.91
TOTAL					109.03
Constante m3-km					10.90

El valor de la contante resulta 10.90 nuevos soles por metro cubico por kilómetro. En la siguiente **tabla 5.9** se muestra los resultados para cada alternativa.

Tabla 5-9 Cuadro Comparativo de Costos de las alternativas

Alternativa	Costo de movimiento de tierras (S/.)	Punto
Primera	92'713,903.4	
Segunda	70'284,225.1	
Tercera	26'914,286.1	X

Se puede notar que los costos son exorbitantes. Esto se debe a las masivas cantidades de corte y relleno que se han considerado. Para sortear estos obstáculos, se debería contemplar el diseño de túneles y puentes; sin embargo, esto queda fuera del alcance del trabajo que se realiza.

5.5. VELOCIDAD DE TOMA DE CURVA HORIZONTAL

En esta sección se compara la máxima variación de velocidad entre curvas horizontales consecutivas de las tres alternativas, esto es importante de marcar puesto que si esta diferencia es muy grande puede ocasionar un desgaste en los frenos de los vehículos o en el peor de los casos accidentes fatales. En la **tabla 5-10** se colocará la máxima diferencia de cada alternativa y el número de veces que se repite en el tramo. Se otorga un punto a la que tenga una menor variación y que menos repeticiones tenga.

Tabla 5-10 Cuadro de comparación de velocidades de las alternativas de trazo

Alternativa	Máxima variación de velocidades	Repeticiones	Punto
Primera	19.51 km/h	1	x
Segunda	19.51 km/h	13	
Tercera	19.51 km/h	4	

Se puede observar que las tres alternativas tienen la misma máxima variación, esto se puede deber a las configuraciones similares de las mismas; sin embargo, hay una diferencia bastante marcada en cuanto a repeticiones, siendo en este caso la segunda alternativa la más riesgosa y la primera la más segura entre las tres. Debido a esto el punto es otorgado a la primera alternativa.

5.6. COORDINACIÓN ENTRE PLANTA Y PERFIL

La concordancia entre el diseño vertical y horizontal al igual que la velocidad de toma de curva es una medida para reducir al mínimo las posibilidades de accidentes en las carreteras. Además, se utiliza como un criterio estético para el diseño. Para realizar la comparación en esta sección se cuantificará cuantas de las configuraciones no recomendables se encuentran en cada alternativa. La que tenga

el menor número de combinaciones desfavorables obtendrá un punto, como se muestra en la **tabla 5-11**.

Tabla 5-11 Cuadro de comparación de concordancia del diseño de planta y perfil

Alternativa	Numero de combinaciones desfavorables		Punto
	presentes	total	
Primera	4	7	
Segunda	6		
Tercera	2		X

Se aprecia que la tercera alternativa presenta un menor número de configuraciones peligrosas para el usuario, por esta razón se le otorga el punto correspondiente. Cabe mencionar que no se está considerando la repetición de cada una de estas combinaciones puesto que haría al análisis innecesariamente complicado.

5.7. CANTIDAD DE ALCANTARILLAS

La cantidad de obras de drenaje en una alternativa afecta directamente el costo de la misma. Pero también son indispensable en la fase de operación, puesto que evitar el desgaste desmedido de la superficie de rodadura de cualquier camino. Debido a esto debe ser considerado como otro factor para la elección de la alternativa definitiva. En la siguiente tabla comparativa se le otorgara el punto al trazo con menor número de alcantarillas, porque es la alternativa que requiere menos puntos de drenaje en toda su extensión.

Tabla 5-12 Cuadro comparativo de ubicación de alcantarillas

	Ubicación de alcantarillas		
	Primera	Segunda	Tercera
1	1+270	1+350	1+620
2	1+720	2+320	2+400
3	2+610	3+920	5+960
4	3+610	4+940	6+540
5	4+560	7+480	8+380
6	5+770	8+020	10+980
7	7+220	8+650	13+120
8	9+110	14+620	
9	10+460	15+600	

10	11+300	16+130	
11	12+020	17+580	
12		18+550	
13		20+450	
Total	11	13	7
Punto			x

5.8. LONGITUD DE MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención son un gran apoyo en el momento de reducir movimientos de tierra, sobretodo en la formación de terraplenes, debido a que este proyecto presenta en sus tres alternativas grandes movimientos de tierra, este factor puede llegar a ser decisivo. El uso exagerado de muros encarece el trabajo grandemente; y la necesidad de gran cantidad de muros es señal de un diseño horizontal y vertical deficientes. Por lo que en este apartado se otorgara el punto a la alternativa con menor longitud de muros de contención a lo largo. Además, se comparará la longitud total del trazo con la de los muros, para obtener un parámetro menos subjetivo para la selección. **La tabla 5-13.** Muestra los resultados.

Tabla 5-13 Cuadro comparativo de Longitud de Muros de Contención

	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
LONGITUD TOTAL DE MUROS	10573.875	16409.0516	5221.57
LONGITUD DE ALTERNATIVA	12.19756	21.14028	13.97129
PORCENTAJE	86.69%	77.62%	37.37%
PUNTO			X

Se puede notar que tanto la primera como la segunda alternativa tienen una longitud excesiva de muros. Esto indica que el desarrollo de estas alternativas tiene deficiencias. En comparación, la tercera alternativa tiene una gran cantidad de muros, sin embargo, la proporción es menor que el resto. Por esta razón, a esta alternativa se le otorga el punto.

5.9. ELECCIÓN DE ALTERNATIVA DEFINITIVA

De acuerdo a los resultados del movimiento de tierras de cada alternativa se ha concluido que la opción más atractiva es la tercera, puesto como lo muestra la tabla, es la que más “puntos” obtuvo en la calificación. Siendo la de menor costo, con menor movimiento de tierras, menor utilización de botaderos, cercanía a los mismos, la mayor coordinación entre los diseños de planta y perfil, la menor cantidad de obras de drenaje y menor longitud de muros de contención. Esta alternativa es la definitiva para los siguientes capítulos de diseño de alcantarillas, de muros de contención y estimación de niveles de servicio.



CAPITULO 6 : DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE

Para realizar el diseño de los drenajes se debe calcular el caudal máximo para el que se debe diseñar. Para esto, se debe tener 2 datos importantes; la intensidad máxima en la zona y el área de la cuenca.

El cálculo de la intensidad máxima requiere de un procesamiento de los siguientes datos:

Tabla 6-1 Registro de 21 años de la precipitación mensual máxima en 24 horas de la estación de Huañec

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo	
1989	62.00	41.10	51.70	9.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.00	Ene
1990	2.10	0.00	14.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	5.80	1.20	14.30	14.30	Dic
1991	13.50	23.60	20.60	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.60	Feb
1992	22.20	18.80	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.20	Ene
1993	68.60	110.50	173.60	20.10	1.90	0.00	0.00	0.00	1.30	30.50	29.50	74.60	173.60	Mar
1994	55.30	79.00	54.40	68.70	2.70	0.30	0.00	0.00	4.50	1.30	20.40	22.90	79.00	Feb
1995	2.50	1.50	62.50	13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.70	16.90	59.60	62.50	Mar
1996	126.40	176.90	135.70	11.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	16.10	176.90	Feb
1997	48.70	124.30	28.40	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.50	117.30	124.30	Feb
1998	139.60	148.10	134.30	17.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.30	148.10	Feb
1999	73.70	161.10	45.00	8.90	9.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80	161.10	Feb
2000	66.90	67.60	43.40	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.60	6.90	23.60	67.60	Feb
2001	61.50	28.40	39.10	19.30	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00	0.00	61.50	Ene
2002	32.70	37.40	68.90	18.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	9.10	7.70	68.90	Mar
2003	23.30	72.00	67.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.10	77.10	Dic
2004	17.80	84.80	57.60	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80	29.90	84.80	Feb
2005	20.10	20.00	64.20	16.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.40	64.20	Mar
2006	62.30	57.50	134.90	38.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	82.30	134.90	Mar
2007	53.20	48.40	110.00	41.60	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	8.80	1.50	9.00	110.00	Mar
2008	119.70	166.30	78.50	16.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.10	13.70	166.30	Feb
2009	25.10	25.50	63.60	9.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.80	21.50	63.60	Mar
MAX	139.60	176.90	173.60	68.70	9.30	0.30	0.00	0.00	4.50	30.50	39.50	117.30	176.90	

Tabla 6-2 Registro de 21 años de la precipitación mensual máxima en 24 horas de la estación de Tanta

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo	
1989	58.40	72.00	107.90	50.50	15.40	3.10	6.60	16.10	9.70	28.10	120.40	19.70	120.40	nov
1990	38.70	32.70	64.10	79.70	15.80	16.90	24.90	19.19.80	34.60	11.30	85.60	67.70	85.60	nov
1991	108.70	88.30	73.70	71.40	45.60	16.10	11.70	14.70	3.40	22.60	53.90	42.80	108.70	ene
1992	61.20	52.30	78.50	20.60	3.10	6.70	13.60	14.80	15.10	47.10	56.20	81.00	81.00	dic
1993	213.40	243.70	199.60	120.70	29.60	8.50	7.50	14.60	35.70	101.40	162.20	163.20	243.70	feb
1994	228.70	300.90	154.40	103.40	33.00	22.70	3.90	8.50	87.60	38.40	86.30	97.60	300.90	feb
1995	152.30	51.90	117.30	36.00	5.60	0.00	0.00	9.60	22.80	44.20	55.50	95.20	152.30	ene
1996	159.90	164.60	117.50	91.00	7.60	0.00	0.00	0.00	8.00	40.80	21.30	94.10	164.60	feb
1997	125.60	181.70	13.70	22.30	0.00	0.00	0.00	5.90	32.60	29.20	93.10	126.30	181.70	feb
1998	177.60	100.00	85.10	64.90	0.00	0.00	0.00	11.50	21.80	43.00	49.20	86.90	177.60	ene
1999	117.10	213.40	115.00	109.40	57.80	1.10	0.00	2.40	11.80	104.90	95.90	193.30	213.40	feb
2000	143.20	223.20	182.70	71.90	29.90	0.00	4.40	0.90	38.90	72.70	61.20	140.70	223.20	feb
2001	169.70	123.10	223.50	13.20	7.30	0.00	0.00	7.30	30.50	37.30	136.30	37.30	223.50	mar
2002	106.30	126.90	203.70	86.60	14.90	0.00	0.00	0.00	34.10	65.40	104.20	93.50	203.70	mar
2003	140.20	144.10	157.00	72.60	19.30	0.00	0.60	0.00	0.60	40.80	39.30	163.00	163.00	dic
2004	38.50	201.30	59.50	54.80	6.50	0.00	0.00	5.20	51.90	81.50	67.10	143.40	201.30	feb
2005	91.80	95.80	153.70	97.30	0.30	0.00	0.00	0.00	2.80	14.50	22.10	113.50	153.70	mar
2006	145.70	129.20	178.40	119.90	0.40	0.40	0.00	4.90	38.20	46.70	93.80	137.40	178.40	mar
2007	182.00	128.70	207.50	100.20	27.60	1.30	0.00	0.50	6.60	82.80	44.50	75.00	207.50	mar
2008	156.70	185.60	87.20	47.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.80	41.60	92.40	185.60	feb
2009	130.80	103.30	131.60	60.30	17.00	0.10	0.00	0.50	9.30	53.40	40.10	77.40	131.60	mar
MAX	228.70	300.90	223.50	120.70	57.80	22.70	24.90	16.10	87.60	104.90	162.20	193.30	300.90	

Las tablas anteriores son los registros de 2 estaciones cercanas a la zona de trabajo

(Huañec y Tanta) desde el año de 1989 hasta el 2009 dando un total de 21 años de registro. A partir de estos, se identificó las máximas precipitaciones anuales, para luego calcular las máximas precipitaciones diarias probables. Esto se logra usando el modelo de distribución probabilístico de Gumbell. El cual tiene esta forma.

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Los parámetros α y u son funciones del promedio aritmético (\bar{x}) de los máximos y la desviación estándar (S) de los mismos.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \quad u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha$$

En las tablas de máxima precipitación diaria probable corregidas con el factor de 1.13 (recomendación del modelo para mejor ajuste de datos) se muestra el promedio y desviación estándar para cada estación.

Tabla 6-3 Tabla de resultados de las precipitaciones máximas diarias probables de la estación de Huañec

Cálculo variables probabilísticas		Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias				
\bar{x}	92.69 mm	Periodo	Variable	Precip.	Prob. de	Corrección
S	50.96 mm	Retorno	Reducida	(mm)	ocurrencia	intervalo fijo
α	39.74 mm	Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
u	69.75 mm	2	0.3665	84.3185	0.5000	95.2799
		5	1.4999	129.3568	0.8000	146.1732
		10	2.2504	159.1761	0.9000	179.8690
		25	3.1985	196.8528	0.9600	222.4437
		50	3.9019	224.8036	0.9800	254.0280
		100	4.6001	252.5479	0.9900	285.3792
		500	6.2136	316.6609	0.9980	357.8269

Tabla 6-4 Tabla de resultados de las precipitaciones máximas diarias probables de la estación de Tanta

Cálculo variables probabilísticas		Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias				
\bar{x}	176.26 mm	Periodo	Variable	Precip.	Prob. de	Corrección
S	53.27 mm	Retorno	Reducida	(mm)	ocurrencia	intervalo fijo
α	41.53 mm	Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
u	152.29 mm	2	0.3665	167.5071	0.5000	189.2830
		5	1.4999	214.5795	0.8000	242.4748
		10	2.2504	245.7455	0.9000	277.6924
		25	3.1985	285.1238	0.9600	322.1899
		50	3.9019	314.3369	0.9800	355.2007
		100	4.6001	343.3343	0.9900	387.9678
		500	6.2136	410.3429	0.9980	463.6874

Para calcular las precipitaciones a distintas duraciones se las multiplica por las proporciones de tiempo correspondientes. Como se muestra a continuación.

Tabla 6-5 Tabla de probabilidades según la duración de la precipitación

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Tabla 6-6 Tabla de valores tabulados para las precipitaciones máximas probables para la estación Huañec

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	95.2799	146.1732	179.8690	222.4437	254.0280	285.3792	357.8269
18 hr	X18 = 91%	86.7047	133.0176	163.6808	177.9550	231.1655	259.6951	325.6224
12 hr	X12 = 80%	76.2240	116.9386	143.8952	177.9550	203.2224	228.3033	286.2615
8 hr	X8 = 68%	64.7904	99.3978	122.3109	151.2617	172.7391	194.0578	243.3223
6 hr	X6 = 61%	58.1208	89.1657	109.7201	135.6907	154.9571	174.0813	218.2744
5 hr	X5 = 57%	54.3096	83.3187	102.5253	126.7929	144.7960	162.6661	203.9613
4 hr	X4 = 52%	49.5456	76.0101	93.5319	115.6707	132.0946	148.3972	186.0700
3 hr	X3 = 46%	43.8288	67.2397	82.7397	102.3241	116.8529	131.2744	164.6004
2 hr	X2 = 39%	37.1592	57.0076	70.1489	86.7530	99.0709	111.2979	139.5525
1 hr	X1 = 30%	28.5840	43.8520	53.9607	66.7331	76.2084	85.6138	107.3481

**Tabla 6-7 Tabla de valores tabulados para las precipitaciones máximas probables
para la estación Tanta.**

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	189.2830	242.4748	277.6924	322.1899	355.2007	387.9678	463.6874
18 hr	X18 = 91%	172.2475	220.6521	252.7001	257.7519	323.2326	353.0507	421.9556
12 hr	X12 = 80%	151.4264	193.9798	222.1539	257.7519	284.1606	310.3742	370.9499
8 hr	X8 = 68%	128.7125	164.8829	188.8308	219.0891	241.5365	263.8181	315.3074
6 hr	X6 = 61%	115.4626	147.9096	169.3924	196.5358	216.6724	236.6603	282.8493
5 hr	X5 = 57%	107.8913	138.2106	158.2847	183.6482	202.4644	221.1416	264.3018
4 hr	X4 = 52%	98.4272	126.0869	144.4000	167.5388	184.7044	201.7432	241.1175
3 hr	X3 = 46%	87.0702	111.5384	127.7385	148.2074	163.3923	178.4652	213.2962
2 hr	X2 = 39%	73.8204	94.5652	108.3000	125.6541	138.5283	151.3074	180.8381
1 hr	X1 = 30%	56.7849	72.7424	83.3077	96.6570	106.5602	116.3903	139.1062

Para halla las intensidades máximas por duración de tiempo. Se divide la precipitación máxima probable calculada anteriormente y la duración en horas, en los cuadros siguientes se muestra los resultados tanto como la estación de Huañec como de Tanta.

**Tabla 6-8 Tabla de valores tabulados para las curvas Intensidad- Duración-Frecuencia
de la estación Huañec**

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	3.9700	6.0906	7.4945	9.2685	10.5845	11.8908	14.9095
18 hr	1080	4.8169	7.3899	9.0934	9.8864	12.8425	14.4275	18.0901
12 hr	720	6.3520	9.7449	11.9913	14.8296	16.9352	19.0253	23.8551
8 hr	480	8.0988	12.4247	15.2889	18.9077	21.5924	24.2572	30.4153
6 hr	360	9.6868	14.8609	18.2867	22.6151	25.8262	29.0136	36.3791
5 hr	300	10.8619	16.6637	20.5051	25.3586	28.9592	32.5332	40.7923
4 hr	240	12.3864	19.0025	23.3830	28.9177	33.0236	37.0993	46.5175
3 hr	180	14.6096	22.4132	27.5799	34.1080	38.9510	43.7581	54.8668
2 hr	120	18.5796	28.5038	35.0745	43.3765	49.5355	55.6489	69.7762
1 hr	60	28.5840	43.8520	53.9607	66.7331	76.2084	85.6138	107.3481

Tabla 6-9 Tabla de valores tabulados para las curvas Intensidad- Duración-Frecuencia de la estación Tanta

Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	7.8868	10.1031	11.5705	13.4246	14.8000	16.1653	19.3203
18 hr	1080	9.5693	12.2584	14.0389	14.3196	17.9574	19.6139	23.4420
12 hr	720	12.6189	16.1650	18.5128	21.4793	23.6800	25.8645	30.9125
8 hr	480	16.0891	20.6104	23.6039	27.3861	30.1921	32.9773	39.4134
6 hr	360	19.2438	24.6516	28.2321	32.7560	36.1121	39.4434	47.1416
5 hr	300	21.5783	27.6421	31.6569	36.7296	40.4929	44.2283	52.8604
4 hr	240	24.6068	31.5217	36.1000	41.8847	46.1761	50.4358	60.2794
3 hr	180	29.0234	37.1795	42.5795	49.4025	54.4641	59.4884	71.0987
2 hr	120	36.9102	47.2826	54.1500	62.8270	69.2641	75.6537	90.4190
1 hr	60	56.7849	72.7424	83.3077	96.6570	106.5602	116.3903	139.1062

De acuerdo al reglamento de diseño del ministerio de transporte, se debe de diseñar estos drenajes con un Periodo de retorno de 25 años, se tomará la máxima intensidad de ambas estaciones, es decir la de una hora de duración. Estas intensidades son 66.7331 mm/hr (Huañec) y 96.6570 mm/hr (Tanta). Realizando un promedio aritmético, para estimar la intensidad en la zona, se obtiene 81.695 mm/hr para el área de trabajo.

Las áreas de las cuencas serán halladas utilizando la herramienta cuenca del software AutoCAD Civil 3D, el cual permite delimitar el área que descarga en un punto determinado. Tal como se muestra en la **Figura 6-1**.

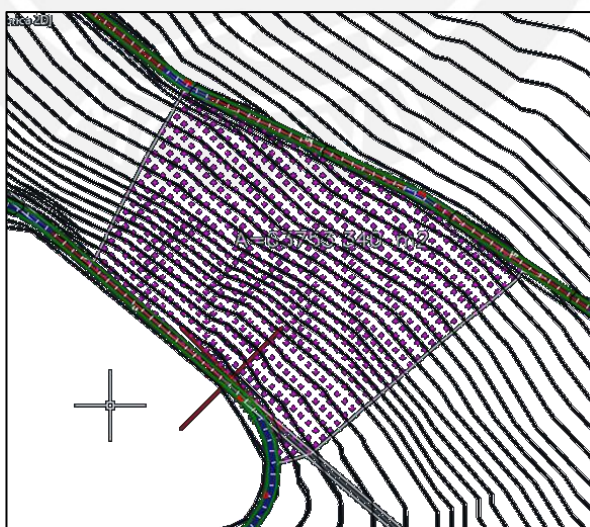


Figura 6-1 Muestra del área de drenaje de un punto de la alternativa definitiva

Los puntos de drenaje serán colocados en zonas de curvas verticales cóncavas y secciones que contengan cierta cantidad de relleno, Este es el criterio más aceptado por profesionales con experiencia en este tipo de trabajos. Se han definido 7 puntos en los cuales se colocarán las alcantarillas. Estos están dispuestos las siguientes progresivas:

- 1+620 m
- 2+400 m
- 5+960 m
- 6+540 m
- 8+380 m
- 10+980 m
- 13+120 m

La cuenca correspondiente a cada uno de los drenajes es el siguiente:

- 104925.9
- 196297.328
- 170759.206
- 89196.883
- 117903.35
- 39718.632
- 370980.355

De acuerdo a estas áreas de cuencas se calculó el caudal en metros cúbicos por segundo. Mediante la siguiente formula.

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Q: Caudal (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad (mm/hr)

A: área de la cuenca (km²)

El coeficiente de escorrentía se escogió siguiendo la siguiente tabla.

Tabla 6-10 Tabla de escorrentías según la naturaleza del suelo y la pendiente del terreno (Adaptado del manual de hidrología, hidráulica y drenaje)

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	Pendiente del terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		> 50%	>20 %	>5%	>1%	<1%
SIN VEGETACIÓN	IMPERMEABLE	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
	SEMIPERMEABLE	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	PERMEABLE	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	SEMIPERMEABLE	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	PERMEABLE	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2
PASTOS, VEGETACIÓN LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15
HIERBA, GRAMA	IMPERMEABLE	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	SEMIPERMEABLE	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
	PERMEABLE	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
BOSQUES, DENSA VEGETACIÓN	IMPERMEABLE	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	SEMIPERMEABLE	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
	PERMEABLE	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05

Según la **tabla 6-10**, la clasificación de la carretera es accidentada (0.1); y en el caso del suelo se elegirá el más cercano al tipo de suelo presente en la zona (0.2), debido a que no hay terreno de cultivo y bosques no se reduce por cobertura. Resultando un C de 0.7.

Aplicando la formula se obtuvieron los siguientes caudales para el diseño.

Tabla 6-11 Tabla de cálculo de los caudales para cada drenaje

Progresiva (m)	Área (km ²)	Intensidad (mm/hr)	Coefficiente de escorrentía	Caudal (m ³ /s)
1+620	0.1049259	81.695	0.7	1.668
2+400	0.19629733	81.695	0.7	3.121
5+960	0.17075921	81.695	0.7	2.715
6+540	0.08919688	81.695	0.7	1.418
8+380	0.11790335	81.695	0.7	1.874
10+980	0.03971863	81.695	0.7	0.631
13+120	0.37098036	81.695	0.7	5.898

Con estos valores se calcularán los diámetros de las tuberías de las alcantarillas usando la siguiente formula. También conocida como la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Donde

Q: Caudal (m³/s)

A: Área Mojada (m²) – depende del diámetro y del tirante

R: Radio hidráulico (m) – depende del diámetro y del tirante

S: Pendiente (m/m)

n: Rugosidad

Con esta fórmula se itero los diámetros, cambiando en intervalos de 10" (0.254m), hasta encontrar el adecuado. Para ser más exactos, el diámetro mínimo posible que cumpla con la ecuación. Como dato importante, la rugosidad asumida es la de 0.025 el cual corresponde a la rugosidad normal de una tubería de alcantarillado TCM (de acero corrugado galvanizado apernables). Los resultados se muestran en la siguiente **tabla 6-12**.

Tabla 6-12 Tabla de cálculo de los diámetros de tubería

Progresiva (m)	Caudal (m ³ /s)	Diámetro		Pendiente (m/m)	rugosidad	tirante (m)
		Pulgada	Metro			
1+620	1.668	32	0.8	0.08	0.025	0.5705
2+400	3.121	48	1.2	0.08	0.025	0.6311
5+960	2.715	48	1.2	0.08	0.025	0.5812
6+540	1.418	32	0.8	0.08	0.025	0.5069
8+380	1.874	48	1.2	0.08	0.025	0.472
10+980	0.631	24	0.6	0.08	0.025	0.3694
13+120	5.898	60	1.5	0.08	0.025	0.809

Los diámetros seleccionados, se encuentran disponibles en el mercado para su adquisición directa. Se incluyó el cálculo del tirante en el cuadro de resultados para demostrar que las alcantarillas no trabajan a tubería llena.

CAPITULO 7 : DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

Debido a que hay zonas con excesivo volumen de corte y relleno con pendientes altas, se ha decidido diseñar a nivel de pre dimensionamiento. El diseño de estas estructuras se dividirá en 2. En muros de contención para zonas en corte y en muros de contención en zonas de relleno.

Para ambos tipos de muro se elegirá un muro tipo "L". Se ha definido para los muros de contención una altura igual a 3 metros tanto para los muros en corte como los de relleno.

Para este caso, serán más necesarios muros de contención para las áreas de relleno puesto que estas serán de material propio compactado, lo cual indica que el talud es más inestable que en el caso de corte, puesto que sus taludes están compuestos de roca. Sin embargo, las constantes lluvias erosionan la roca, lo cual podría causar pequeños derrumbes en estos taludes, por lo cual también se protegerán, en las zonas donde sean necesarias.

7.1. DIMENSIONES ASUMIDAS

Para los muros a diseñar, se está asumiendo las siguientes dimensiones:

Altura de muro de contención libre: 3.0 metros

Base de diseño: 3.00 m

Espesor de la pantalla de muro de contención: 30 cm

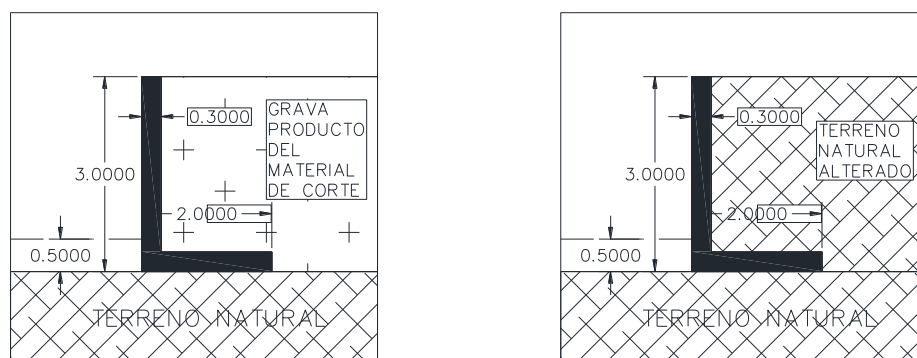


Figura 7-1 Esquema de las dimensiones y forma de los muros de contención. A la izquierda para muros para relleno y a la derecha de muros para corte

Para simplificar los cálculos y debido a que tiene un aporte ínfimo dentro del cálculo, no se considera el material en la cara del muro de contención con altura de 0.5 metros.

7.2. COMPROBACIÓN DE DIMENSIONES

De acuerdo al estudio hidráulico el tipo de suelo en la zona presenta una capa superficial de material arcilloso- arenoso, el cual será removido. Puesto que este suelo no es recomendable para terraplenes. Se está trabajando con la roca fracturada del proceso de corte de la carretera. El cual se está adaptando a una grava convencional, dándole a los fragmentos un tamaño máximo de 1 pulgada, debido a la presencia de restos de arcilla y arena no se asegura que la grava se encuentre limpia.

Dadas estas condiciones se han asumido los siguientes datos para:

- Material de relleno
 - Densidad: 2.5 ton/m³
 - Angulo de fricción interna: 31°
 - Coeficiente de fricción: 0.6
 - Capacidad portante: 6 kg/cm²
- Terreno natural alterado
 - Densidad: 2.63 ton/m³
 - Angulo de fricción interna: 29°
 - Coeficiente de fricción: 0.55
 - Capacidad Portante: 5 kg/cm

También se está asumiendo que el material del muro será de concreto armado con un f'c de 210 kg/cm² y una densidad de 2.4 ton/m³. Con estos datos, se comprobará que las dimensiones seleccionadas cumplan con los factores de seguridad de volteo y desplazamiento, que según la norma son 2 y 1.5 respectivamente. A continuación, se muestra en la **tabla 7-1 y 7-2** los cálculos y los resultados, tanto como para los muros en relleno como en corte.

Tabla 7-1 tabla de cálculo de muros de contención para relleno

Datos	
Densidad del suelo (Kg/m3)	2.5
Angulo de fricción o ángulo de corte del suelo (°)	31
Resistencia del Concreto a compresión (Kg/cm2)	210
Fluencia del Acero (Kg/cm2)	4200
Resistencia del terreno a carga axial (Kg/cm2)	6
Altura del muro de contención libre (m)	3
coeficiente de fricción (tg ϕ)	0.600
Factor de Seguridad a Deslizamiento (FSD)	1.5
Factor de Seguridad a Volteo (FSV)	2

Calculo de esfuerzo:	
Factor del Suelo a comportamiento triangular	
$K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$	0.320

Dimensionamiento de Pantalla:	
Espesor de la pantalla del muro de contención (m)	0.3
Peralte efectivo del trabajo de fierro del muro (cm)	27
base de diseño (m)	200

Calculo de fuerzas actuantes	
Fuerza actuante (Ton)	3.60
Altura de trabajo de carga (m)	1.00
Momento actuante (ton-m)	3.60

Verificación de Estabilidad	Carga	Brazo	Momento
Peso de la base de diseño	1.22	0.85	1.04
Peso de la pantalla del muro	2.16	1.10	2.38
Empuje Activo	3.75	1.45	5.44
Sumatoria	7.134		8.85
Resultados	Comprobación		
FSD	1.98	Cumple	
FSV	2.46	Cumple	

Tabla 7-2 Tabla de cálculo de muros de contención para corte

Datos	
Densidad del suelo (Kg/m3)	2.63
Angulo de fricción o ángulo de corte del suelo (°)	29
Resistencia del Concreto a compresión (Kg/cm2)	210
Fluencia del Acero (Kg/cm2)	4200
Resistencia del terreno a carga axial (Kg/cm2)	5
Altura del muro de contención libre (m)	3
coeficiente de fricción (tg ø)	0.500
Factor de Seguridad a Deslizamiento (FSD)	1.5
Factor de Seguridad a Volteo (FSV)	2
Calculo de esfuerzo:	
Factor del Suelo a comportamiento triangular	
$Ka = \tan^2(45 - \phi/2)$	0.347

Dimensionamiento de Pantalla:	
Espesor de la pantalla del muro de contención (m)	0.3
Peralte efectivo del trabajo de fierro del muro (cm)	27
base de diseño (cm)	200

Calculo de fuerzas actuantes	
Fuerza actuante (ton)	4.11
Altura de trabajo de carga (m)	1.00
Momento actuante (ton-m)	4.11

Verificación de Estabilidad	Carga	Brazo	Momento
Peso de la base de diseño	1.22	0.85	1.04
Peso de la pantalla del muro	2.16	1.10	2.38
Empuje Activo	3.95	1.45	5.72
Sumatoria	7.329		9.14

Resultados	Comprobación	
FSD	1.78	Cumple
FSV	2.22	Cumple

Como se ve en las tablas anteriores, las dimensiones asumidas cumplen con los factores de seguridad de la norma. Cabe resaltar que este capítulo trata de realizar un pre-diseño de muros de contención, con datos asumidos de materiales de similares propiedades y parámetros asumidos de forma general.

7.3. LOCALIZACIÓN DE MUROS

Para finalizar este apartado, se indicará de forma general, la localización de los muros de contención. Para conocer este número, se hizo uso del perfil longitudinal de los bordes de la alternativa definitiva diseñada. Se colocarán muros de contención en aquellas zonas con un corte o un relleno mayor a la altura del muro dimensionado. La mayor cantidad de muros pertenece a los que retienen corte debido a que el trazo es nuevo y la velocidad de diseño es mayor a la recomendable según el manual de diseño.

El criterio para la ubicación de los muros de contención toma en cuenta la geografía en donde se encuentra el trazo. Aunque hay zonas con alturas de corte que llegan a los 13 metros debido a las pronunciadas pendientes; sin embargo, no es problema debido a que es zona con roca fija de gran estabilidad.

El trazo se divide en tres tipos de suelo bien marcados, los cuales son: Depósitos Fluvioglaciares (compuestos por arena arcillosa con presencia de roca fragmentada), Afloramientos de Dacita (roca extruida ígnea) y Afloramientos de Andesita (compuesta por zonas de roca fija reciente y dacita meteorizada). De acuerdo a sus propiedades, solo se vio necesario agregar muros en las zonas de suelo areno-arcilloso con alturas de relleno de mayores de 3 metros de alto hasta 6 metros.

Las progresivas correspondientes a la ubicación de muros son presentadas en los planos respectivos.

CAPITULO 8 : ESTIMACIÓN DE NIVELES DE SERVICIO DEL TRAMO

Tomando en cuenta lo indicado en la **DG-2014**, para realizar la estimación de los niveles de servicio se utiliza el procedimiento y las formulas especificadas en el Highway Capacity Manual (HCM-2010).

Los niveles de servicio son un indicador para medir la comodidad del conductor al usar la vía. Esta consta de 6 niveles que están definidos por letras del alfabeto, en donde “A” es el nivel más alto de servicio y “F” es el más bajo. Este indicador funciona tanto para vías urbanas como rurales, simplemente con ligeras variaciones en las consideraciones. En la **tabla 8-1** se muestran los parámetros necesarios para identificar sus niveles de servicio.

Tabla 8-1 Cuadro de niveles de servicio según el tipo de carretera (extraído de HCM 2010)

Niveles de Servicio	Carretera Primera Clase		Carretera Segunda Clase	Carretera tercera clase
	ATS (mi/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	>55	≤35	≤40	>91.7
B	>50–55	>35–50	>40–55	>83.3–
C	>45–50	>50–65	>55–70	>75.0–
D	>40–45	>65–80	>70–85	>66.7–
E	≤40	>80	>85	≤66.7

En este caso, al ser la carretera de tercera clase, se tomará la columna correspondiente para este tipo de carreteras. Debido a que esta guía se encuentra con unidades inglesas, todas nuestras variables tendrán que ser convertidas a este sistema. El cálculo de niveles de servicio de esta ruta, está proyectada para el año 2035, lo cual corresponde a una estimación con una proyección de 20 años a partir del 2015. Por lo que se utilizarán los datos que se hallaron en el **capítulo 3**, como base para

8.1. ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Para este cálculo se utilizará la siguiente ecuación dispuesta en la HCM 2010:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Donde:

FFS : Velocidad de flujo libre

BFFS: Velocidad base de flujo libre

f_{LS}: Ajuste por ancho de carril y sobre ancho

f_A: Ajuste por densidad de punto de acceso

De acuerdo a la HCM se puede estimar la velocidad base de flujo libre adicionando a la velocidad de diseño 10 millas/h. Para este caso la velocidad de diseño es de 50 km/h (31.07 millas/h), entonces la velocidad base es 66.1 km/h (41.07 millas/h).

Y de acuerdo a las tablas los factores de corrección *f_{SL}* y *f_A* son respectivamente; 6.4 y 0. Dando como resultado una velocidad de flujo libre de 55.8 km/h (34.67 millas/hora).

8.2. AJUSTE DE DEMANDA POR ATS (VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE)

Continuando con el procedimiento, se utilizará la fórmula que se muestra para hallar la demanda por carril.

$$v_{i,ATS} = \frac{V_i}{PHF \times f_{g,ATS} \times f_{HV,ATS}}$$

Donde:

v_{i,ATS} = tasa de flujo de demanda por estimación de ATS (pc/h);

i = “d” (dirección de análisis) u “o” (dirección contraria);

V_i = volumen de demanda por carril (veh/h);

$f_{g,ATS}$ = factor de ajuste de pendiente.
 $f_{HV,ATS}$ = factor de ajuste por vehículos pesados.
 PHF = factor de hora pico

De acuerdo al IMDA actual (38 veh/día), el volumen de demanda por carril es 4 veh/h, de acuerdo al conteo realizado. Al realizar una proyección similar al estudio de tráfico, se obtiene un volumen de demanda por carril de 9 veh/h. El factor de hora pico de la vía (PHF) para este caso es 1. Para los factores de ajuste de pendiente se tomará en cuenta la **tabla 8-2**.

Tabla 8-2 Cuadro de factores de ajuste de pendientes para terreno en general
(Extraído de HCM 2010)

flujo de demanda de un carril (veh/h)	Factor de Ajuste	
	Nivel de terreno y pendientes específicas	Terreno de rodadura
≤100	1.00	0.67
200	1.00	0.75
300	1.00	0.83
400	1.00	0.90
500	1.00	0.95
600	1.00	0.97
700	1.00	0.98
800	1.00	0.99
≥900	1.00	1.00

Según el cuadro, el factor de ajuste correspondiente es 0.67, puesto que se toma todo el terreno en lugar de secciones específicas.

Además de la proporción de vehículos pesados con respecto al tráfico total; ya que en la vía no circulan vehículos pesados el factor de ajuste por tráfico pesado es de 1.

Con estos datos se obtiene que la tasa de flujo por estimación de ATS para ambos carriles es igual a 13.43 pc/h (pasajeros por hora)

8.3. ESTIMACIÓN DEL ATS

La velocidad de viaje promedio se calcula mediante la siguiente formula

$$ATS_d = FFS - 0.0077(v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Todas las variables necesarias ya están calculadas, excepto el factor de ajuste de ATS, que depende de las zonas de no- sobrepaso de la vía. Para la alternativa elegida el porcentaje de zonas de no sobrepaso es de 87.76%.

Tabla 8-3 Cuadro de factores de ajuste de velocidad promedio de viaje (adaptado de HCM 2010)

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	Percent No-Passing Zones				
	£ 20	40	60	80	100
FFS ≤ 45 mi/h					
£100	0.10	0.40	1.70	2.20	2.40
200	0.90	1.60	3.10	3.80	4.00
400	0.90	0.50	2.00	2.50	2.70
600	0.40	0.30	1.30	1.70	1.80
800	0.30	0.30	0.80	1.10	1.20
1,000	0.30	0.30	0.60	0.80	1.10
1,200	0.30	0.30	0.60	0.70	1.00
1,400	0.30	0.30	0.60	0.60	0.70
³ 1,600	0.30	0.30	0.40	0.40	0.60

Luego de realizar la interpolación, el factor de ajuste resulto igual a 2.28. Tomando en cuenta que los datos están en unidades inglesas, la velocidad promedio de viaje es 32.30 millas/h.

8.4. ESTIMACIÓN DE PFFS

Está definido como el porcentaje de la velocidad de flujo libre que corresponde a la velocidad promedio de viaje. En otras palabras, es la relación del ATS (velocidad promedio de viaje) calculado y el FFS (velocidad de flujo libre) estimado. El cual resulta ser igual a 0.9282, expresado en porcentaje es 92.82%. Este parámetro se encuentre en el rango **A** de niveles de servicio (PFFS mayor a 91.7%). Lo cual significa que tendrá el mejor desempeño en lo que se refiere a comodidad de usuario.

$$PFFS = \frac{32.18 \text{ millas/h}}{34.67 \text{ millas/h}}$$



CONCLUSIONES

El trabajo realizado, tuvo como objetivo principal la realización del diseño geométrico del tramo crítico de la ruta departamental LM-122 para favorecer el acceso al centro poblado de Tanta- Yauyos. Como se explicó en al inicio del texto solo se consideró el tramo crítico, puesto que es el que más complicaciones trae a la construcción y al acceso de la ruta.

Además del diseño, como parte del trabajo se busca que el nivel de servicio del tramo sea adecuado para el usuario, clasificándolo según la escala establecida por el HCM 2010; se requería que la vía contara con un nivel de servicio mayor a “C” o “D”. Esto aseguraría la comodidad de los usuarios y una velocidad de diseño que no se vea limitada por la topografía del lugar.

Como parte complementaria del trabajo se realizó los pre-dimensionamientos tanto de las alcantarillas como de los muros de contención existentes. Para lo cual se investigó las cuencas hidrográficas presentes en el área y el tipo de suelo existente, para poder calcular y asumir los parámetros con los cuales realizar el pre-diseño de las obras de arte.

Para iniciar el proyecto se tuvo que identificar el tipo de carretera de la ruta, para eso se realizó un conteo de una semana en el pueblo de Tanta durante el mes de mayo del presente año. Se escogió este centro debido a que la ruta LM-122 es la única que la cruza, por lo tanto, el número de vehículos que cruza Tanta es el mismo que cruzan la vía. Este conteo dio como resultado **39 vehículos** a diario, con esto se infiere que la carretera no tiene mucha demanda, incluso en época de festividades; también muestra lo poco transitable que es esta vía. Luego de realizar los cálculos necesarios para la estimación del IMDA a 25 años de proyección se obtuvo un número de vehículos por día igual a **78**. Siguiendo los lineamientos de la DG-2014, esta se clasificaría como **Carretera de Tercer Clase**, lo cual en el transcurso del trabajo simplifiqué cálculos y fórmulas para el diseño. Además, se encontró que el tipo de vehículo más común es el **automóvil** y el tipo más crítico es **el bus de 2 ejes** (con este vehículo se diseñó la vía). A pesar de la existencia de vehículos de carga de 2

ejes, sus dimensiones eran menores que la de los buses de 2 ejes.

La topografía de la zona corresponde a la carta topográfica 25-k que muestra la provincia de Huarochirí; pero también se encuentra parte de otras provincias, como Yauyos (lugar donde se localiza el trabajo). Se cortaron las áreas que no se necesitaban y se centró en la zona del proyecto. En esa porción de plano topográfico, la pendiente máxima es de **123%**, lo cual clasificaría la vía como escarpada. Sin embargo, esta pendiente se encuentra fuera del trazo de la vía, en donde la máxima pendiente encontrada fue de **80%** aproximadamente. Esto clasifica a nuestra topografía como **Accidentada**.

De acuerdo al manual DG-2014 se eligió una velocidad de diseño de **50 Km/h**, este parámetro se definía según la topografía del terreno (accidentada) y el Índice Medio Diario Anual de la vía (carretera tercera clase). Además de la velocidad de diseño, con estos datos se halló la pendiente máxima de la vía, el máximo peralte en curvas, longitudes mínimas y máximas de las tangentes, el radio mínimo de curva y longitud mínima de curvas verticales convexas. Todos estos parámetros fueron tomados en cuenta al momento de realizar la fase del diseño geométrico de la carretera.

Para el diseño geométrico de la ruta indicada se realizaron 3 alternativas de diseño en el cual se presentaba la vista en planta, el perfil longitudinal, las longitudes de transición de elevaciones y el volumen de movimiento de tierras. De las tres alternativas presentadas se escogió la **tercera**, ya que además de cumplir con las disposiciones del manual de diseño geométrico de carreteras, esta alternativa presentaba el menor volumen de movimiento de tierras en comparación a las otras 2 alternativas. Este volumen fue estimado con las herramientas presentes en el software AutoCAD Civil 3D versión 2014.

El diseño en planta **no fue realizado de forma convencional**, según el procedimiento a seguir; se debía realizar un trazo con una pendiente constante para toda la vía, el cual serviría de referencia para el trazo final. Sin embargo, al aplicar este procedimiento, se llegó a trazos sinuosos e inviables. Esto se puede notar tanto en la primera como en la segunda alternativa. En las cuales se definieron curvas cerradas en topografía escarpada, lo cual incremento de forma irremediable el

volumen de corte de dichas alternativas.

Dicho lo anterior, para la elección de la alternativa más viable se siguió el siguiente procedimiento. Ya que el proyecto se ubica en una zona alta de pendientes pronunciadas, se consideró que el volumen de movimiento de tierras como la variable más importante de comparación. Sin embargo, no se puede realizar un análisis solo con volúmenes acumulados de material, puesto que sería subjetivo y poco claro. Para poder realizar esta comparación se tenía que realizar un análisis de costo del movimiento de tierras de cada una de las alternativas.

Primero se definió el tipo de material de corte y de relleno que, para este caso, resulto ser roca fracturada con presencia mínima de arcillas arenosas; lo cual permitió el uso de material propio para las zonas que presentan relleno. Luego, se localizaron los botaderos de en la zona, para la eliminación del material excedente. Luego de una inspección se definieron 4 botaderos, ubicados en los alrededores del área. Con la ubicación de botaderos y el diagrama curva masa de cada alternativa se comenzó a definir las líneas de distribución para optimizar las distancias de transporte de material, y gestionar mejor los costos. Con las líneas de distribución establecidas se define la distancia libre de acarreo 120 metros (todo movimiento mayor a esta distancia fue considerado para el costo total de la operación). Después, se calculan las distancias de transporte de la vía al cual se le resta la distancia libre de transporte. Con estas longitudes multiplicadas por el volumen de material a movilizar y el coste de transporte por unidad de longitud por unidad de volumen (S/. 10.90) se halla el costo de la operación. Al realizar este cálculo para las tres alternativas, la ruta con menor costo fue elegida. Esa alternativa fue la **Tercera**. Teniendo un coste de **26'914,286.1 nuevos soles**

El coste es exorbitante, esto se debe a las zonas con excesivo corte y relleno presentes en la ruta; provocado por la orografía presente. Sin embargo, esta es la solución más accesible con respecto a las demás. Además, la alternativa definitiva pudo modificarse a una ruta más cómoda, si se hubiese separado en secciones con distintas velocidades de diseño, lastimosamente esto no se encuentra en el alcance del proyecto.

Con la alternativa ya definida se prosiguió con el pre dimensionamiento de las obras de arte. La cual consta con 2 tipos de estructura, principalmente (drenajes de cruce y muros de contención).

Para los drenajes, se diseñaron de acuerdo a lo estipulado al manual de hidrología, hidráulica y drenajes del ministerio de transportes. Como consideraciones iniciales, según lo indicado en la norma, los drenajes de tipo cruce deben ser diseñados para 25 años de tiempo de retorno. Con la ayuda de los registros de SENAMHI para las estaciones que se encuentran cerca del área, se pudo calcular las intensidades máximas de precipitación probables, con lo cual se calculaba los caudales y luego con un proceso iterativo se definía el diámetro adecuado para cada drenaje. Al finalizar, se definieron 7 Drenajes a lo largo del alineamiento en las progresivas indicadas en el capítulo correspondiente.

El pre dimensionamiento de muros de contención fue realizado con datos muy burdos, debía a que no se tuvo acceso para un análisis más detallado del tipo de suelo en el lugar. Sin embargo, la información utilizada permitió realizar una buena aproximación, sin tener pruebas de laboratorio o datos precisos. Las dimensiones asumidas y comprobadas fueron 3 metros para la altura y 2 metros para la base. Y se localizan a lo largo de la ruta diseñada. Cabe mencionar que el masivo movimiento de tierras, volvería ineficiente la utilización de muros para zonas de relleno. Sería más viable la construcción de puentes o modificación de la ruta en el caso de relleno y túneles para los excesos de corte. Pero como se dijo con anterioridad, esto no se estipulo en el alcance del trabajo.

Para finalizar con esta sección, se explicará el procedimiento y se analizará el resultado final de los niveles de servicio de la carretera. Este indicador de comodidad, se calcula tomando como referencia la velocidad de flujo libre en la vía. Esta velocidad está definida como la velocidad de un vehículo en la carretera cuando no tiene que preocuparse de otros conductores o de problemas externos. Esta velocidad es comparada con la velocidad de viaje promedio, el cual corresponde a la velocidad de marcha de los vehículos. Se tiene 2 alternativas para hallar el nivel de servicio de una vía; la primera es calcularla de forma general para toda la longitud. O tomar secciones de la carretera y hallar la zona critica. Por el corto tiempo disponible y la falta de datos, se prefirió calcular los niveles de servicio del tramo en general en lugar de separarlo en secciones. Debido a la inexistente presencia de vehículos pesados,

no se realizó la corrección por tráfico pesado, pero se tuvo que realizar el resto de correcciones. Al finalizar los cálculos se obtuvo un **nivel de servicio A**, la cuál es la mejor valoración, esto se sobrepone a la expectativa inicial de un nivel C o D. Lo que lo convertiría en una ruta accesible para llegar a Tanta y serviría como un desvío para la carretera central que recibe gran carga de tráfico diariamente. Esto reactivaría la economía del pequeño dándole mayor importancia en su provincia y un incremento de su potencial turístico, lo cual fue el objetivo inicial del trabajo.



REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Official (USA). "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets". Quinta Edición. Washington.2011.
- Centro Peruano de Estudios Sociales (Perú). "Cuenca del Rio Mala". Lima. 15 de junio del 2015 de CEPES sitio web: http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico_calidad_agua-tomo2/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_mala.pdf
- CONDESAN. Nor-Yauyos Cochas(2014).Recuperado el 14 de Junio del 2015, de <http://www.condesan.org/terrazas/es/node/47>
- Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural Del Ministerio Del Ambiente (Perú). "Inventario y evaluación del Patrimonio Natural en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas". Ministerio del Ambiente. Lima. Julio 2011.
- GEOCONSULT (Perú). "Reformulación del estudio definitivo de la carretera llave- Mazocruz tramo: llave-San Antonio Checca". Informe Final-Analisis de Precios Unitarios. Volumen: 7. Lima. Febrero 2012.
- Ministerio de Agricultura (Perú). "Evaluación de Recursos Hídricos de la cuenca del Rio Mala"- Estudio Hidrológico. Mala. 2007.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). Escala 1:500.000. Mapa Vial de Lima. Lima, Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013. 1 mapa, col.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones (Perú). "Estudio definitivo de ingeniería para el mejoramiento de la carretera: Patahuasi- Yauri- Sicuani Tramo: San Genaro- El descanso". Lima
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Perú). "Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2014)". Lima. Octubre 2014.
- Ministerio de Transporte y comunicaciones (Perú). "Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje". Lima. 2013
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Perú). "Plan Intermodal de Transportes del Perú". [Informe Final-Parte 2]. Lima. 2005.
- ORDOÑEZ, Alberto (Peru). "MUROS DE CONTENCIÓN". Universidad Nacional Agraria. La Molina, Lima.
- Oregon department of Transportation (USA). "Analysis Procedure Manual". Versión 2. Addendum 11-B. Oregon. Junio 2014.

- Slideshare. (2013). "Prontuario Características Técnicas De Los Terrenos Y Cimentaciones Adecuadas A Los Mismos". 8 de noviembre del 2015, de <http://es.slideshare.net/yaclinzol/capacidad-portante-13760210>
- TORRES, Raúl. Intervenciones en la Red Vial Nacional [diapositivas]. Lima. Ministerio de Transportes y Comunicaciones- Provias Nacional, 2012. 167 diapositivas, col.
- TORRES, Raúl. Intervenciones en la Red Vial Nacional [diapositivas]. Lima. Ministerio de Transportes y Comunicaciones- Provias Nacional, 2013. 33 diapositivas, col.
- TORRES, Raúl. Intervenciones en la Red Vial Nacional [diapositivas]. Lima. Ministerio de Transportes y Comunicaciones- Provias Nacional, 2014. 47 diapositivas, col.
- TORRES, Raúl. Intervenciones en la Red Vial Nacional [diapositivas]. Lima. Ministerio de Transportes y Comunicaciones- Provias Nacional, 2015. 170 diapositivas, col.
- Transportation Research Board. (EE.UU.). "The Highway Capacity Manual". Quinta Edición. 2010.
- YAUYOS EN LINEA. (2012). Tanta una maravilla para no perderse. 17 de abril del 2015, de Yauyos en línea Sitio web: <https://yauyosenlinea.wordpress.com/2012/04/12/tanta-una-maravilla-para-no-perderse/>